

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta strojní**  
**Institut dopravy - 342**

***Analýza spolehlivosti železničních kolejových vozidel***

***Reliability Analysis of Railway Vehicles***

**Student:** **Bc. Tomáš Bryx**  
**Vedoucí diplomové práce:** **doc. Ing. Jan Famfulík, Ph.D.**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Institut dopravy

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Bryx**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **2301T003 Dopravní technika a technologie**  
Specializace: **10 Kolejová doprava**  
Téma: **Analýza spolehlivosti železničních kolejových vozidel**  
**Reliability Analysis of Railway Vehicles**

Jazyk vypracování: **čeština**

### Zásady pro vypracování:

Cílem práce je analýza spolehlivosti vybrané řady vozidel dle požadavku společnosti DPOV Přerov. Na základě analýzy spolehlivosti provést návrh změny systému údržby a stanovit náklady LCC na preventivní a korektivní údržbu.

### Postup řešení:

1. Popis stávajícího systému údržby a sběru dat v oblasti spolehlivosti.
2. Ze stanoveného souboru dat proveďte analýzu dat o bezporuchovosti a udržitelnosti se zaměřením na jednotlivé celky ŽKV v záruční době.
3. Na základě výše uvedených analýz proveďte návrh změny systému údržby s cílem zvýšit jeho efektivitu.
4. Vypracujte model nákladů LCC pro údržbu vybraných celků ŽKV.
5. Proveďte zhodnocení navržených opatření v údržbě ŽKV.

### Seznam doporučené odborné literatury:

1. FAMFULÍK Jan, HRANOŠ Vladimír, KRZYŽANEK Radek, GALVASOVÁ Zuzana. Spolehlivost pozemní dopravy [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Univerzita Pardubice, 2013 [cit. 2017-02-05]. ISBN 978- 80-248-3266-1. Dostupné z: [https://issuu.com/michdor/docs/m11\\_text](https://issuu.com/michdor/docs/m11_text).
2. FAMFULÍK, J. a kol.: Zkoušky spolehlivosti. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010. ISBN 978-80-248-2277-8.
3. FAMFULÍK, J.: Teorie údržby. VŠB – TU Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1029-8.
4. ČSN IEC 61650: 1998, Techniky analýzy dat o bezporuchovosti.
5. Podklady společnosti DPOV Přerov.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jan Famfulík, Ph.D.**

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20.5.2019



podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 20.5.2019

  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Tomáš Bryx

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Vrchlického 12, Šumperk 787 01

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

BRYX, T. Analýza spolehlivosti železničních kolejových vozidel: Diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2019, 69 s. Vedoucí práce: Famfulík, J.

Diplomová práce se zabývá hodnocením spolehlivosti železničních kolejových vozidel řady 362/363. Výchozími údaji jsou data z garančních hlášenek a systému SAP. Dále je proveden odhad parametrů rozdělení distribučních funkcí s pomocí lineární regrese pro skupiny prvků rozdělených podle okruhů určených v systému preventivní údržby. Odhadnuté parametry jsou následně otestovány pomocí Kolmogorov – Smirnovova testu dobré shody. Následně je proveden odhad parametrů LCC během deseti let provozu s ohledem na náklady na korektivní a část preventivní údržby. Na základě zmíněných analýz je navrženo opatření pro zvýšení spolehlivosti a snížení nákladů korektivní údržby.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

BRYX, T. Reliability Analysis of Railway Vehicles: *Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transportation, 2019, 69 p. Thesis head: Famfulík, J.

This diploma thesis deals with the evaluation of reliability of railway vehicles of the class 362/363. The default information's are data from the guarantee reports and from the SAP system. Then, the parameters of division of distribution functions are estimated via linear regression for groups of elements divided according to the areas given in the system of preventative maintenance. The estimated parameters are then tested by Kolmogorov-Smirnov test of goodness of fit. Then, the parameters of LCC during ten years of operation are estimated considering the costs of corrective and preventive maintenance. Based on the above-mentioned analyses, the measure to increase the reliability and to lower the costs of the corrective maintenance is suggested.

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu své bakalářské práce doc. Ing. Janovi Famfulíkovi, Ph.D. za ochotu a pomoc při odborných konzultacích. Dále děkuji panu Ing. Zbyňkovi Jančíkovi za poskytnutí materiálů k práci, odborné konzultace a pomoc při řešení problémů.

## Obsah

Zkratky .....	10
1 Úvod .....	11
2 Popis ŽKV .....	12
2.1 Hnací vozidla typu 363/362 [8] .....	12
2.1.1. Definování údržby .....	15
2.1.2. Stav vozidla vzhledem k životnosti .....	17
3 Metody hodnocení bezporuchovosti systémů a nákladů LCC.....	18
3.1 Náklady životního cyklu LCC.....	19
3.2 Exponenciální rozdělení.....	21
3.3 Weibulovo rozdělení.....	23
3.4 Odhad parametrů rozdělení .....	26
3.4.1. Odhad parametrů exponenciálního rozdělení.....	27
3.4.2. Odhad parametrů Weibulova rozdělení .....	28
3.5 Test dobré shody Kolmogorov – Smirnov.....	29
4 Sběr dat .....	30
4.1 Postup řešení garančních zakázek .....	31
5 Analýzu dat o bezporuchovosti a udržitelnosti se zaměřením na jednotlivé celky ŽKV v záruční době.....	33
5.1 Specifikace sběru dat.....	33
5.2 Zpracování dat.....	33
5.2.1. Základní parametry .....	33
5.3 Odhad parametrů dat dle údržbových skupin .....	37
5.3.1. Odhad parametrů trakčních motorů.....	38
5.3.2. Odhad parametrů brzdové výstroje .....	41
5.4 Odhad parametrů dalších údržbových skupin.....	45
5.4.1. Údržbové skupiny s exponenciálním rozdělením pravděpodobnosti....	46
5.4.2. Údržbové skupiny s Weibullovým rozdělením pravděpodobnosti .....	46
6 Návrh změn na základě provedených analýz s cílem zvýšit jejich efektivitu .....	48
7 Model nákladů LCC pro vybrané prvky.....	51
7.1 LCC preventivní údržby.....	51



7.2	LCC korektivní údržby .....	51
7.3	Celkové náklady na údržbu .....	55
8	Závěr.....	57
9	Citace a zdroje .....	59
10	Seznam obrázků .....	60
11	Seznam tabulek .....	61
12	Seznam příloh .....	62

## Zkratky

SAP – System – Applications – Products in data processing

DPOV a.s. – Dílny pro opravy vozidel akciová společnost

SOD – Smlouva o díle

ŽKV – železniční kolejové vozidlo

LCC – Life Cycle Cost (náklady životního cyklu)

W2P – Weibullovo dvouparametrické rozdělení

ARR – automatický režim řízení

VNT – vyrovnávač nápravových tlaků

HV – hlavní vypínač

exp – exponenciální rozdělení

EDB – elektro dynamická brzda

EN – Evropská norma

ČSN – Česká státní norma

# 1 Úvod

Cílem diplomové práce je analýza spolehlivosti vybraných řad hnacích vozidel podle podkladů společnosti DPOV Přerov a.s.. Na základě analýzy spolehlivosti provést návrh změny systému údržby a stanovit náklady LCC na preventivní a korektivní údržbu.

V úvodní části budou specifikovány vybrané řady hnacích vozidel a parametry preventivní údržby. Poté budou specifikovány systémy údržby se zaměřením na bezporuchovost. Další část bude věnována určení teorie nákladů údržby dle LCC a budou určeny odhady parametrů vybraných rozdělení. Posléze bude definován způsob sběru dat pro potřeby odhadu parametrů rozdělení.

V praktické části budou definovány vybrané celky ŽKV, bude provedena analýza dat o jejich bezporuchovosti a budou odhadnuty parametry rozdělení jednotlivých definovaných skupin.

Na základě provedených analýz budou navrženy změny vybraných komponentů vozidla, s úmyslem zvýšit jeho bezporuchovost a snížit náklady na korektivní údržbu.

Poté budou vypracovány definované modely LCC preventivní a korektivní údržby pro vybrané skupiny ŽKV. V závěru práce budou zhodnocena provedená opatření vzhledem k LCC a bezporuchovosti.

## 2 Popis ŽKV

Pro diplomovou práci byla vybrána řada vozidel 363 (ex ES 499.1) a z ní odvozená řada 362. Jedná se o dvousystémové hnací vozidlo vyráběné společností ŠKODA Plzeň v letech 1980 – 1990. Mechanická část vychází z řady 350 (ex ES 499.0), elektrická část byla konstruována nově. Pro elektrickou část byly poprvé využity pulsní měniče k regulaci výkonu. Řada 363 měla být základem pro typovou řadu hnacích vozidel. Unifikace proběhla u hnacích vozidel řady 363 – 163 – 263 – 372. [2] Pořizovací náklady k 31.12.1981 byly 8 900 000 Kč. [8]

Nejdůležitější rekonstrukcí je rekonstrukce řady 363 na řadu 362. Rekonstrukce se týkala pojezdu, nejdříve probíhala výměnou podvozků s vozidlem řady 162. Tímto se snížilo namáhání trakčních motorů při vyšších rychlostech a navýšení rychlosti na 140 km/h. [2]



Obrázek 2.1 ŽKV 362 [11]

### 2.1 Hnací vozidla typu 363/362 [8]

Jedná se o čtyřnápravové skříňové vozidlo s koncovými klimatizovanými kabinami obsluhy. Skříň vozidla vychází z řady 131. Rám tvoří dva hlavní boční podélníky, spojené řadou příčníků. Na koncích jsou umístěny četrníky s tažným a narážecím ústrojím.

Mezi čelními kabinami je umístěna strojovna. Do kabiny je přístup bočními dveřmi. Čelní okna jsou vybavena dvouvrstvými vyhřívanými skly. Kabiny jsou vybaveny průběžným

řídícím pultem s většinou ovládacích prvků, ukazatelů, volič směru, ovladač tahu a panel automatické regulace rychlosti. Kabiny tvoří jeden montážní blok.

Levá bočnice strojovny ve směru kabiny 1 je vybavena celistvým pásem žaluzií a v zešíkmené části jsou umístěna ve dvojicích 4 pevná okna. V pravé bočnici jsou umístěna ve dvojicích nad podvozky čtyři kruhová okna. Při průchodu strojovnou z 1. kabiny jsou veškerá zařízení umístěna po levé straně, pouze kondenzátory filtru jsou umístěny na podlaze. Za kabinou je skříň elektroniky přístupná ze stanoviště, za ní jsou umístěny dva kotevní pulzní měniče PULS-DELTA-A a budící měnič BATYR-DELTA-A. Následuje tunel ventilátoru trakčních motorů, měnič pomocných pohonů UNIPULS 80 A. Následně je umístěna vysokonapěťová kobka s vysokonapěťovými stykači, přepojovači, hlavním vypínačem a dalšími vysokonapěťovými prvky. Vysokonapěťová kobka je oddělená od uličky blokem vzduchotechniky skládající se z hlavních kompresorů 3 DSK 100 a pomocných kompresorů. Poté jsou umístěny další dva kotevní pulzní měniče, trakční usměrňovač a ventilátor druhé motorové skupiny. V mezistěně druhé kabiny je zázemí pro obsluhu.

Spodek skříně vozidla je tvořen hlavním rámem ze svařovaných ocelových profilů. Na čele rámu je tažné a narážecí ústrojí se smetadly. Pod středem hlavního rámu je umístěn trakční transformátor. Střechu tvoří dva odnímatelné střešní díly pod sběrači a středové demontovatelné skříně brzdových odporů. Duté sloupky tvořící kostru skříně jsou používány jako zásobníky písku a je doplňován pomocí otvorů ve střeše.

Na skříň jsou za pomoci otočných čepů připojeny dva dvounápravové hnací podvozky, jejich maximální rychlost je až 200 km/h. Podvozkový rám je ocelový svařenec. Dvojkolí jsou vedená svislými vodícími čepy směřujícími dolů z rámu podvozku procházejícími primárním vypružením. Na nápravu dvojkolí je nalisován pastorek nápravové převodovky a hvězdicových kol s obručí.

Primární vypružení zajišťují vinuté ocelové pružiny a paralelní hydraulické tlumiče. Sekundární vypružení je zajištěno svislými a příčnými kapalinovými tlumiči. Vozidla rekonstruované řady jsou vybavena i podélným tlumičem. Přenos točivého momentu zajišťuje kloubová spojka ŠKODA. Hnací vozidlo je dále vybaveno mezipodvozkovou vazbou, vyrovnávačem nápravových tlaků a mazáním okolků.

Zásobníkem vzduchu je pomocný vzduchojem o objemu 150 l, dva hlavní vzduchojemy pro pneumatickou brzdu o objemu 900 l umístěné za smetadly a vzduchojemy umístěné ve strojovně pro pneumatické ovládání přístrojů.

Vozidlo je vybaveno mechanickou ruční brzdou ovládanou ze stanoviště, působícím na obě dvojkolí umístěné pod daným stanovištěm. Samočinná tlaková brzda DAKO DK-G je

řízena elektricky ovládaným brzdíčem DAKO BSE. Brzdíč je řízený ovladači DAKO OBE1. Přímochinnou brzdu ovládají dva brzdíče DAKO BP. Rozvaděč brzd je typu DAKO LTR s tlakovými relé. Vozidlo je vybaveno brzdovými jednotkami sdružující brzdový válec, špalíky a pákoví. Elektrodynamická brzda je odporová, brzdové odporníky jsou z fechralu, chlazené čtyřmi axiálními ventilátory. Regulace EDB je plynulá a je funkční do 7 km/h.

Výkon dodávají čtyři stejnosměrné šestipólové cize buzené trakční elektromotory s kompenzačním vinutím typu AL 4562 FiR. Motory jsou napájeny usměrněným proudem. Motory jsou chlazené dvěma axiálními ventilátory chladící také trakční měniče. Motory jsou v podvozku zapojeny trvale v sérii.

Napájení palubní sítě 48 V zajišťují alkalické akumulátorové baterie. Baterie jsou dobíjeny elektronickým dobíječem napájeným meziobvodem 600 V. Centrální napáječ pracuje při napětí 115 V, 400 Hz.

Mezi ochrany využitě na vozidle patří elektronická skluzová ochrana, nadproudová ochrana, diferenciální ochrana a přepětová ochrana. V případě chybného zvolení napájecí soustavy je hlavní vypínač blokován.

Vozidlo je vybaveno palubní a provozní diagnostikou. Na vozidle je umístěna radiostanice a mobilní část liniového vlakového zabezpečovače LS IV s návěstním opakovačem.

Tabulka 2.1 Technické údaje vozidel 362/363

Výrobce	Škoda Plzeň
Uspořádání pojezdu	Bo'Bo'
Napájecí soustava	3 kV / 25 kV 50 Hz
Maximální rychlost	120 km/h (363), 140 km/h (362)
Hmotnost	88 t
Trvalý výkon	3 060 kW (AC), 3 480 kW (DC)
Regulace	Tyristorová pulsní
Trvalá tažná síla	177 kN (363), 152 kN (362)
Maximální tažná síla	300 kN
Minimální poloměr oblouku	120 m při traťové rychlosti
	90 m při 10 km/h
Výkon EDB	3 000 kW
Nápravový převod	1:3,522 (363), 1:3038 (362)
Rozchod	1 435 mm
Šířka vozidla	2 940 mm

### 2.1.1. Definování údržby

V tabulce 2.2 jsou uvedeny proběhy do údržbových zásahů. Označení údržbových zásahů je následující:

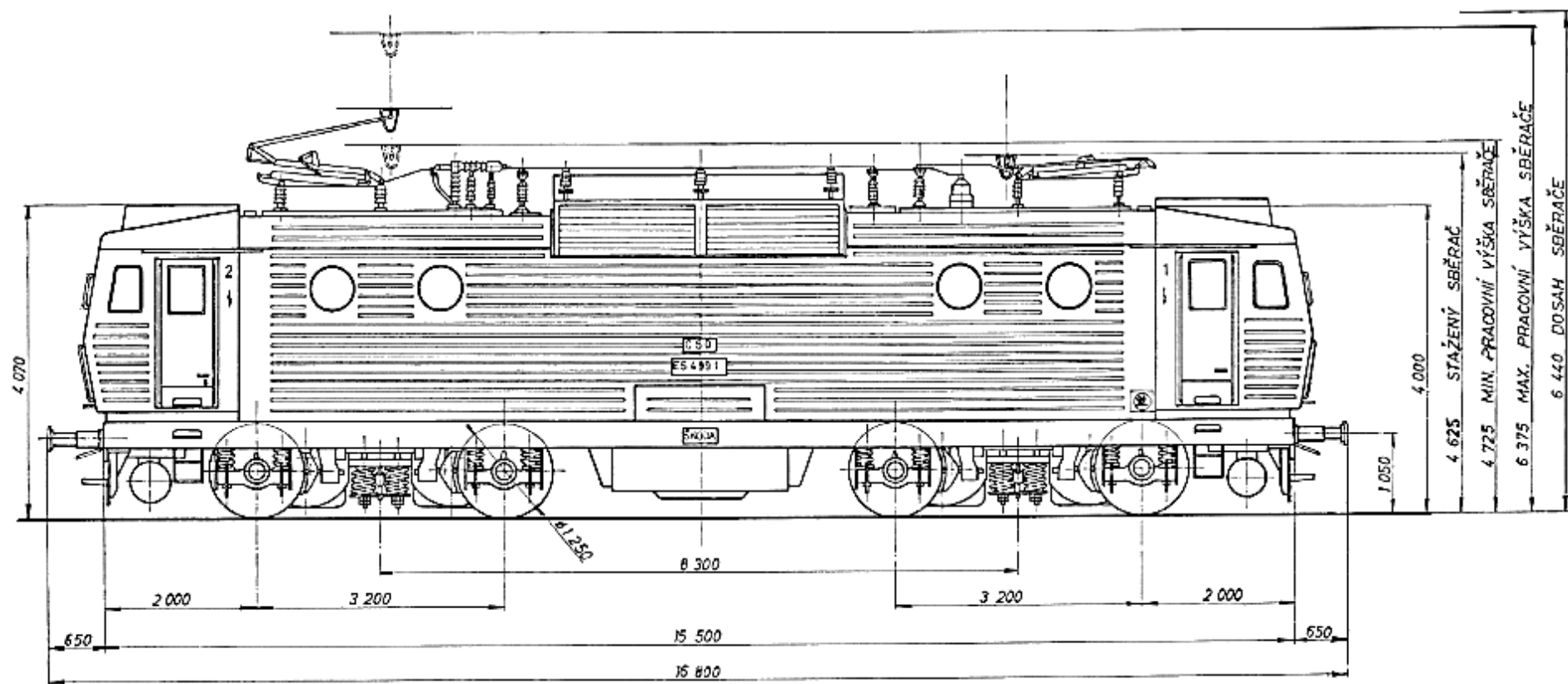
- E0 – provozní ošetření,
- EM – periodická prohlídka malá,
- EV – periodická prohlídka velká,
- EVY – periodická oprava vyvazovací,
- EH – periodická oprava hlavní.

Tabulka 2.2 Proběhy do údržby pro vozidla 362/363

Označení údržby	Km proběh [lokkm*1000]	Předpokládaná doba do údržby [dny]
E0	2,5 – 4,5	4 – 7
EM	17 – 26	28 – 43
EV	180	299
EVY	550	913
EH	2200	3650
Předpokládaný denní kilometrický proběh		602,74 km

Hnací vozidlo typu 363/362 je rozděleno do následujících údržbových skupin dle plánu údržby [4]:

- Pojezd
- Táhlové a narážecí ústrojí
- Elektrické zařízení
- Hlavní a nápravové převodovky, kloubové hřídele
- Pomocné pohony
- Skříň vozidla
- Brzdová výstroj
- Sdělovací a zabezpečovací zařízení, rychloměry

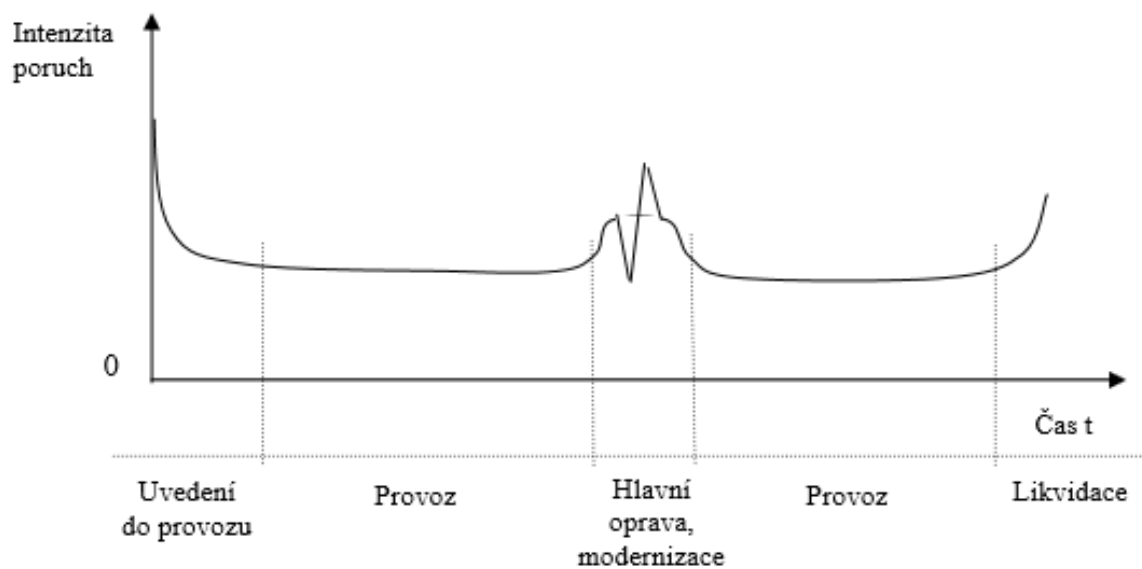


Obrázek 2.2 Typový výkres řady 363 [1]



### 2.1.2. Stav vozidla vzhledem k životnosti

Průběh životnosti vozidla zobrazuje křivka na obrázku 2.2. Vybraná ŽKV se vzhledem k životnosti nachází v období po hlavní opravě. V tomto období intenzita poruch odpovídá intenzitě poruch v době uvedení do provozu. Po době záběhu se intenzita poruch ustálí.



Obrázek 2.3 Průběh intenzity poruch v čase [2]

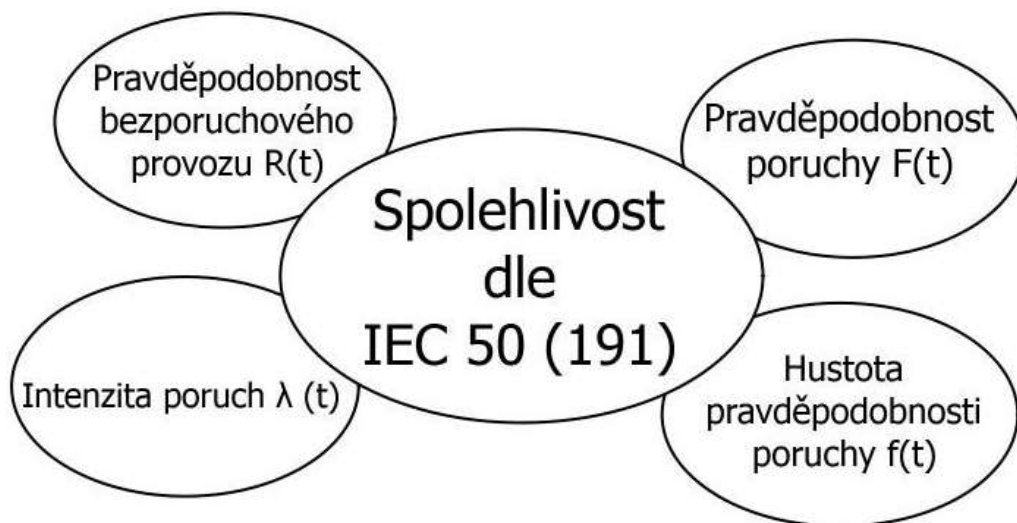
### 3 Metody hodnocení bezporuchovosti systémů a nákladů LCC

Bezporuchovost je jedna ze tří částí spolehlivosti v případě, kdy uvažujeme spolehlivost v jejím širším pojetí dle normy ČSN EN ISO 9000: 2006. V tomto případě můžeme spolehlivost rozdělit do tří částí. [2]

- Bezporuchovost – schopnost objektu plnit nepřetržitě požadované funkce po stanovenou dobu a za stanovených podmínek.
- Udržovatelnost – schopnost objektu v daných podmínkách používání setrvat ve stavu nebo se vrátit do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci tehdy, jestliže se údržba provádí v daných podmínkách a používají se stanovené postupy i prostředky.
- Zajištěnost údržby – schopnost organizace poskytující údržbářské služby zajišťovat podle požadavků v daných podmínkách prostředky potřebné pro údržbu v souladu s koncepcí údržby. [2]

Spolehlivost dále specifikuje ČSN IEC 50(191) – Mezinárodního elektrotechnického slovníku (viz. Obrázek 3.1 Spolehlivost dle IEC 50(191)). [2] Spolehlivost je tedy vyjádřena jako pravděpodobnost, že objekt bude plnit požadovanou funkci ve specifikovaných podmínkách ve stanoveném časovém intervalu. Norma také definuje další pojmy vztahující se k bezporuchovosti a údržbě:

- Porucha – částečná nebo úplná ztráta schopnosti provozu soustavy nebo prvku. Pokud dojde ke změně schopnosti provozu, rozhoduje se, zda jde o poruchu nebo ne, podle stanovených podmínek provozu,
- Doba do první poruchy – celková doba provozu objektu od okamžiku prvního uvedení do použitelného stavu až do poruchy,
- Doba mezi poruchami – doba trvání mezi dvěma po sobě následujícími poruchami opravovaného objektu,
- Doba údržby – časový interval, během něhož se na objektu provádí údržbářský zásah buď ručně, nebo automaticky, včetně technických a logistických zpoždění,
- Údržba – souhrn konkrétních technologických činností a postupů, jejich uplatňováním za určených podmínek se provádí obnova požadovaného technického stavu objektu,
- Preventivní údržba – údržba prováděná v předem určených intervalech, nebo podle předepsaných kritérií a je zaměřená na snížení pravděpodobnosti poruchy, nebo degradace fungování objektu,
- Korektivní údržba – údržba prováděná po zjištění poruchového stavu a je zaměřená na uvedení objektu do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci,
- Oprava je část údržby po poruše, při níž se na objektu provádějí ruční operace. [2]



Obrázek 3.1 Spolehlivost dle IEC 50(191)

### 3.1 Náklady životního cyklu LCC

Při pořizování ŽKV je důležité brát v úvahu celkovou ekonomickou stránku spojenou s nákupem konkrétního vozidla. Nejedná se zde jen o pořizovací cenu vozidla, ale i o náklady spojené s provozem, údržbou, opravami a likvidací vozidla. Tyto náklady převyšují náklady pořizovací. Z tohoto důvodu je důležité mít povědomí o nákladech spojených s provozem. Tyto náklady, dohromady s náklady na pořízení určují LCC.

Podmínky pro hodnocení LCC [2]:

- orientační doba provozu vozidla delší než jeden rok,
- náklady na pořízení vozidla představují menší část celkových nákladů na vozidlo.

Uvedené podmínky vybraná vozidla řady 362/363 splňují.

Pro výrobce i provozovatele je důležité stanovit etapu, ve které se vozidlo nachází. Je proto nutné použít exaktní metody stanovení etap životního cyklu vozidla, které vycházejí ze sledování a hodnocení změny některých jakostních parametrů, například průběhu intenzity poruch. Předčasná, nebo naopak opožděná likvidace výrobku má vždy za následek ekonomické, někdy i velké hmotné ztráty. [2]

Život výrobku (ŽKV) může být rozdělen do šesti etap, v závislosti na inherentní spolehlivosti:

- inherentní spolehlivost vzniká
  - 1) etapa koncepce a stanovení požadavků
  - 2) etapa návrhu a vývoje
  - 3) etapa výroby
- inherentní spolehlivost se využívá
  - 4) etapa uvedení do provozu
  - 5) etapa provozu
  - 6) etapa likvidace

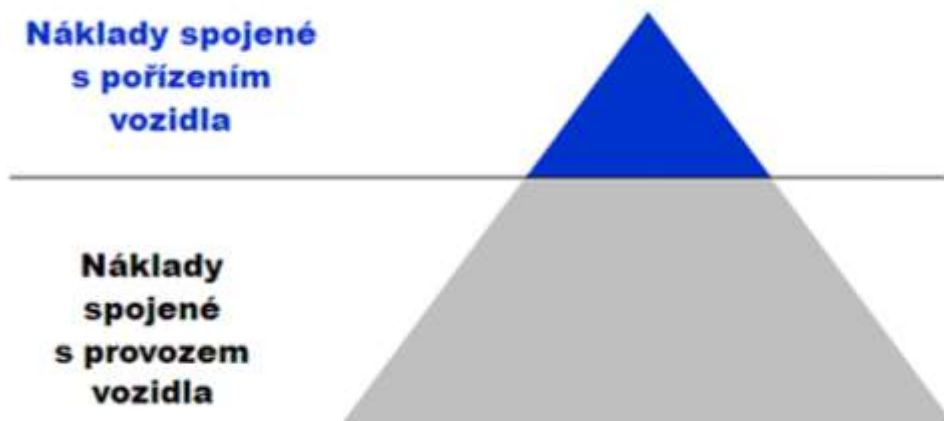
Etapa uvedení do provozu náleží do obou částí, jak do vzniku inherentní spolehlivosti, tak do části, ve které je využívána.

Náklady životního cyklu se skládají z nákladů pořizovacích a nákladů na provoz.

$$LCC = N_p + N_v \quad (1.1.)$$

$N_p$  – pořizovací náklady náleží do 1) - 4) etapy života. Před pořízením vozidla by měli být známe

$N_v$  – vlastnické náklady, odpovídají nákladům na provoz, údržbu, opravy a likvidaci vozidla. Tvoří hlavní skupinu nákladových položek LCC.



Obrázek 3.2 Dělbá nákladů LCC [2]

Před odhadem LCC je vozidlo rozděleno na jednotlivé nákladové položky. Při následném odhadu je postupováno systematicky dle těchto kroků: [2]

- rozčlenění vozidla na konstrukční části, skupiny, podskupiny, součásti
- rozčlenění na jednotlivé etapy životního cyklu, tj. na doby životního cyklu, kdy se má práce, činnost provést

- zařazení nákladů do kategorií, tj. např. náklady na pracovní sílu, materiál, energie, režie
- sestavení a posouzení různých variant uspořádání vozidla, vyhodnocením je například ovlivněno rozhodnutí nakoupit díl, nebo sami díl vyrobit.

### 3.2 Exponenciální rozdělení

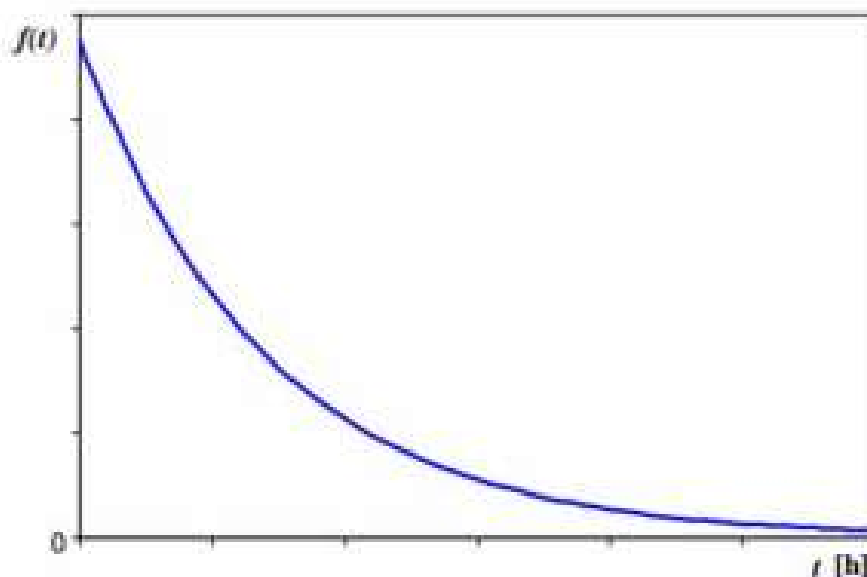
Exponenciální rozdělení popisuje dobu do vzniku náhodného jevu v Poissonově procesu. Toto rozdělení je vhodné pro systémy, kde vznikají jevy náhodně bez opotřebení. Parametrem tohoto rozdělení je  $\lambda$ . Parametr zároveň určuje míru výskytu jevu, v tomto případě poruch, a je konstantní ( $\lambda = \text{konst.}$ ). V této práci se zaměřím na systémy požární ochrany, které obsahují převážně elektronické prvky. U elektrických prvků lze výskyt poruch charakterizovat exponenciálním rozdělením náhodné veličiny. Exponenciální rozdělení není závislé na svém předchozím stavu, zda bylo v poruše, či nikoliv. [2]

Hustota pravděpodobnosti  $f(t)$  je klesající exponenciální funkce (viz. Obrázek 3.3 Hustota pravděpodobnosti). Rovnice hustoty pravděpodobnosti:

$$f(t) = \lambda \cdot te^{-\lambda \cdot t} \quad (3.1.)$$

$t$  – hodnota náhodné veličiny  $T$  [h]

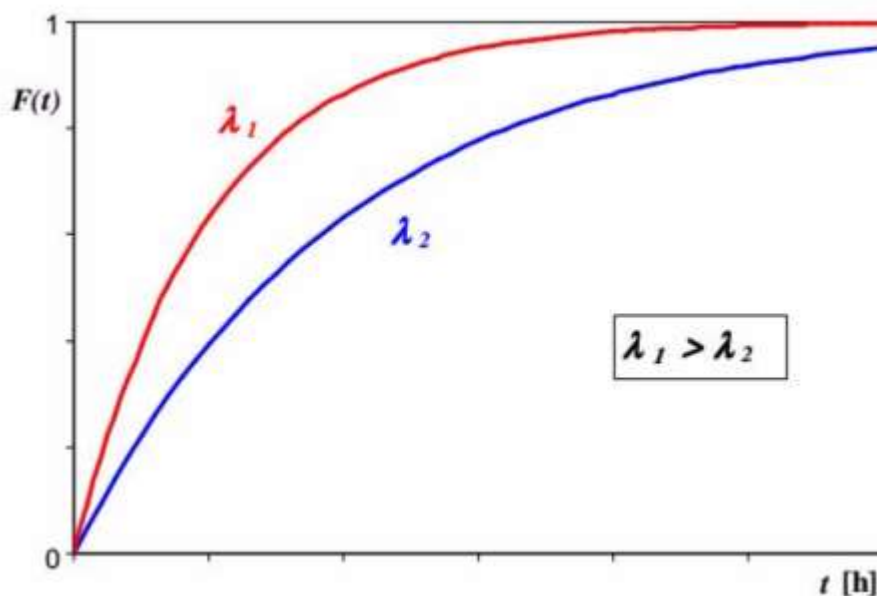
$\lambda$  – intenzita poruch [ $\text{h}^{-1}$ ]  $\lambda = \text{konstanta}$



Obrázek 3.3 Hustota pravděpodobnosti exponenciálního rozdělení [2]

Distribuční funkci  $F(t)$  určuje následující vztah. Průběh funkce se nachází na Obrázek 3.4 Distribuční funkce.

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t} \quad (3.2.)$$



Obrázek 3.4 Distribuční funkce exponenciálního rozdělení [2]

Pravděpodobnost bezporuchového stavu  $R(t)$  vyjadřuje vzorec:

$$R(t) = e^{-\lambda \cdot t} \quad (3.3.)$$

Střední hodnota  $E(t)$ , a rozptyl  $D(t)$  náhodné veličiny s exponenciálním rozdělením vyjadřují vzorce:

$$E(T) = \frac{1}{\lambda} \quad (3.4.)$$

$$D(T) = \frac{1}{\lambda^2} \quad (3.5.)$$

$\lambda$  – intenzita poruch [ $\text{h}^{-1}$ ]  $\lambda = \text{konstanta}$

### 3.3 Weibullovo rozdělení

Weibullovo rozdělení je často používané pro popis náhodné veličiny ve spolehlivosti z důvodu jeho variability, kdy změnou jeho parametrů lze nahrazovat i jiná rozdělení pravděpodobnosti. [3]

Distribuční funkce  $F(t)$  tříparametrického Weibullova rozdělení:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-c}{t_o}\right)^m} \quad (3.6.)$$

$t$  – hodnota náhodné veličiny  $T$  [h],

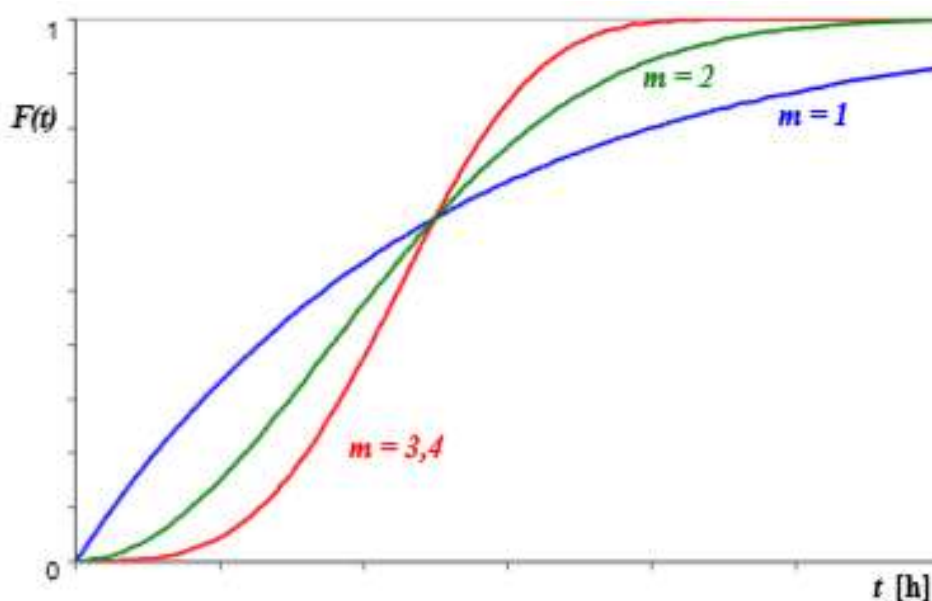
$m$  – parametr tvaru,

$t_o$  – parametr měřítka [h],

$c$  – parametr polohy [h].

Pro potřeby práce bude uvažováno pouze dvouparametrické Weibullovo rozdělení, při parametru polohy  $c = 0$ . Distribuční  $F(t)$  funkce dvouparametrického Weibullova rozdělení je následující:

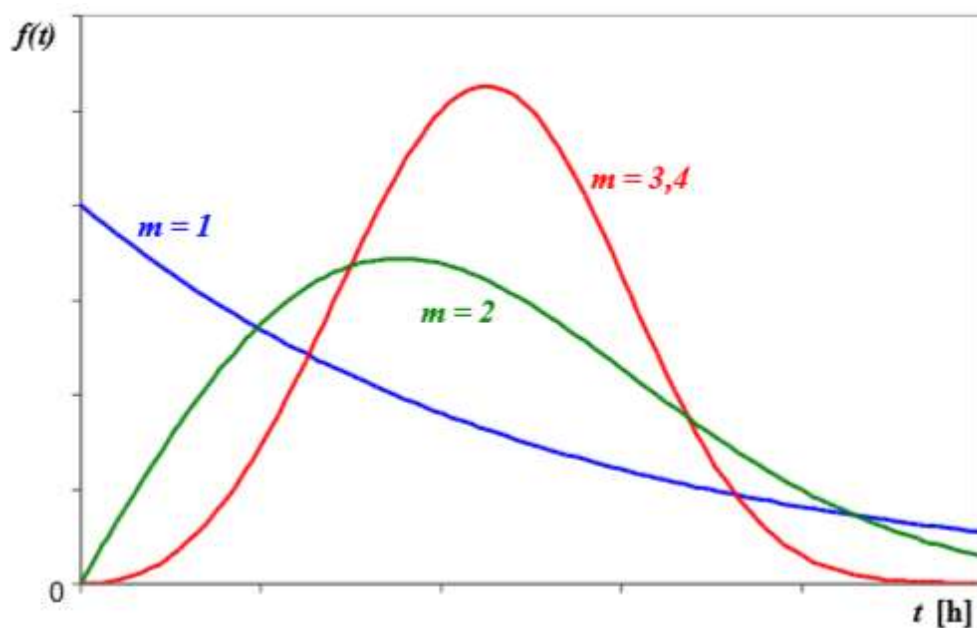
$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{t_o}\right)^m} \quad (3.7.)$$



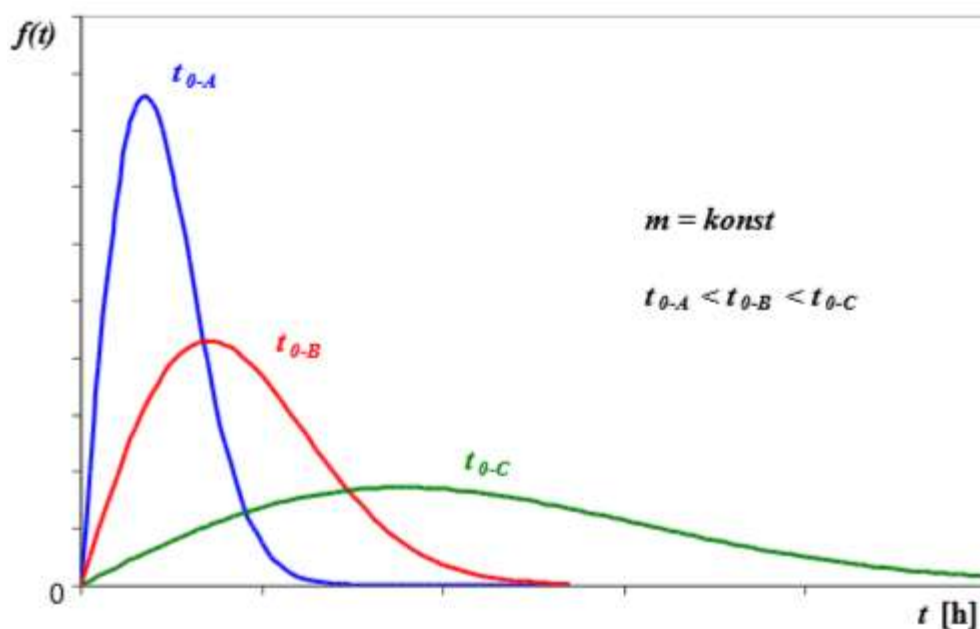
Obrázek 3.5 Distribuční funkce dvouparametrického Weibullova rozdělení

Změnou parametrů tvaru a měřítka dochází ke změně průběhu křivky hustoty pravděpodobnosti  $f(t)$ .

$$f(t) = \frac{m}{t_0} \cdot \left(\frac{t}{t_0}\right)^{m-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \quad (3.8.)$$



Obrázek 3.6 Změna průběhu hustoty pravděpodobnosti v závislosti na parametru tvaru [2]



Obrázek 3.7 Změna průběhu hustoty pravděpodobnosti v závislosti na parametru měřítka [2]

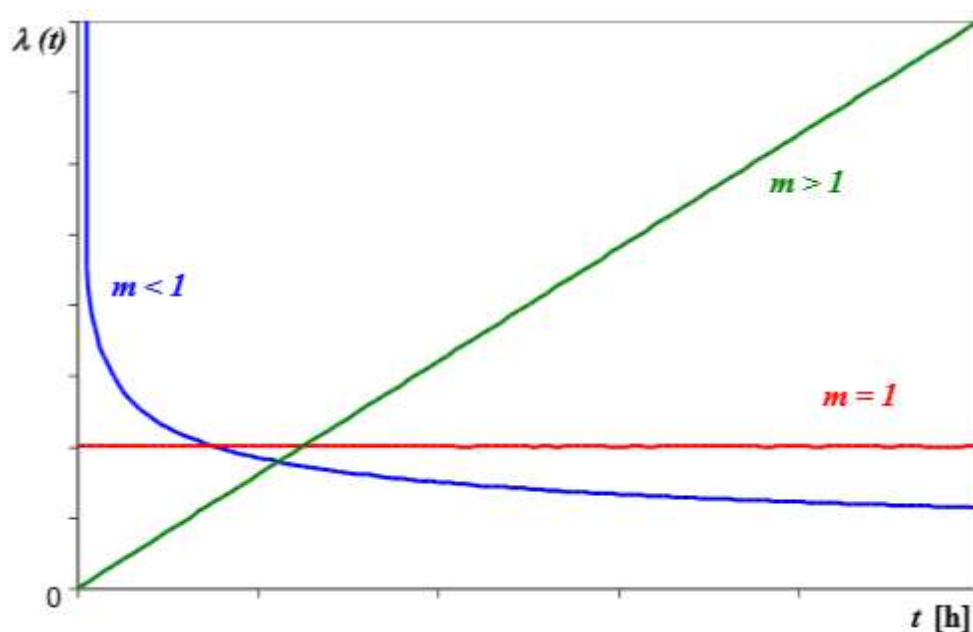


Pravděpodobnost bezporuchového stavu  $R(t)$  vyjadřuje vzorec:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{t_o}\right)^m} \quad (3.9.)$$

Intenzita poruch  $\lambda(t)$  je závislá na parametru  $m$  a vyjadřuje stav životního cyklu. Intenzita poruch je dána vztahem:

$$\lambda(t) = \frac{m}{t_o} \cdot \left(\frac{t}{t_o}\right)^{m-1} \quad (3.10.)$$



Obrázek 3.8 Průběh intenzity poruch v čase [2]

Střední hodnota  $E(t)$ , a rozptyl  $D(t)$  náhodné veličiny s Weibullovým rozdělením vyjadřují vzorce:

$$E(t) = t_o \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) \quad (3.11.)$$

$$D(t) = t_o \cdot \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{m}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{m}\right) \right] \quad (3.12.)$$

Funkce gama  $\Gamma(n)$  je tabelována, pro praktické použití v Microsoft Excel byla použita funkce gamma. Vztah pro funkci gama:

$$\Gamma(n) = \int_0^{+\infty} e^{-x} \cdot x^{n-1} dx \quad (3.13.)$$

### 3.4 Odhad parametrů rozdělení

Odhad parametrů rozdělení byl proveden jako bodový odhad metodou lineární regrese.

Bodový odhad představuje jedinou číselnou hodnotu parametru/parametrů rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny. Vychází z konkrétních dat náhodného výběru, a proto pro různé výběry se tato hodnota bude lišit. Přesnost bodového odhadu vzrůstá s rostoucím rozsahem výběru, tedy například s rostoucím počtem výrobků, které jsou k dispozici pro získání potřebných dat, tj. jednotlivých dob do poruchy. [2]

Odhad parametrů rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny s využitím lineární regrese metodou nejmenších čtverců vychází z předpokladu, že souborem dat je proložena přímka tak, aby součet druhých mocnin vzdáleností mezi body a přímkou byl minimální. [2]

Věrohodnost teoretického modelu nalezeného metodou lineární regrese udává index determinace  $R^2$ . Nabývá hodnot z intervalu  $<0; 1>$ , přičemž čím více se blíží k hodnotě jedné, tím více se soubor dat přiléhá k přímce a navržený model je dobře vystihuje. Naopak pokud se hodnota indexu blíží nule, pak navržený model není vhodný pro daná data, nebo se rozdělení pravděpodobnosti neřídí žádným zákonem a data jsou chaotická. Nahrazuje tak provedení testu dobré shody použitého zákona rozdělení. [2]

Metoda je využitelná u rozdělení, která mohou být linearizovaná. V tomto případě se tedy jedná o exponenciální a Weibullovo rozdělení pravděpodobnosti.

Pro odhad obou rozdělení je nejdříve nutné provést odhad vhodného zákona rozdělení, k odhadu byl proveden pomocí histogramu.

Nejdříve odhadneme šířku třídy  $\Delta T$ , pomocí empirického vztahu:

$$\Delta T = \frac{t_{min} - t_{max}}{1 + 3,3 \log N} [h] \quad (3.14.)$$

$t_{min}$  – minimální doba do události [h]

$t_{max}$  – maximální doba do události [h]

$N$  – počet sledovaných událostí

Následně jsou postupným sčítáním vytvořeny jednotlivé třídy tak, aby byla obsáhnuta veškerá měření. Dále následuje vytvoření histogramu s absolutními četnostmi v jednotlivých třídách a absolutní kumulativní četností. Pro vytvoření histogramu byly využity vestavěné funkce Microsoft Excel.

Po vytvoření histogramu byla provedena kontrola na odlehlá měření (událost odskakuje v histogramu ob jednu či více tříd), toto měření bylo odstraněno. Odlehlá měření byla odstraněna, z důvodu zanášení chyby do odhadu parametrů rozdělení.

Dále bylo zapotřebí uspořádat data o událostech vzestupně a následně je ohodnotit pořadovým číslem 1 až  $n$ .

Po předchozích krocích byl proveden nejlepší odhad hodnoty distribuční funkce  $F(t)$  za pomoci mediánového pořadí  $F_i(m)$ . Mediánové pořadí nahrazuje při odhadu parametrů distribuční funkci.

$$F_i(m) = \frac{n_i - 0,3}{n + 0,4} \quad (3.15.)$$

$n_i$  – pořadové číslo události

$n$  – celkový počet událostí

$i = 1, 2, \dots, n$

Při převádění na výchozí rovnici přímky bylo vycházeno z rovnice:

$$y = k \cdot x + q \quad (3.16.)$$

Postup využitý pro odhad parametrů vybraných rozdělení je uveden v kapitolách 0 pro exponenciální rozdělení a 3.4.2 pro Weibullovo rozdělení.

#### 3.4.1. Odhad parametrů exponenciálního rozdělení

Pro odhad parametrů exponenciálního rozdělení je nutné nejdříve převést distribuční funkci (3.3.) do tvaru rovnice přímky dle vzorce 3.17.

Pro transformaci rovnice 3.3. se provedou následující úpravy:

$$1 - F(t) = -e^{-\lambda \cdot t}$$

$$\ln[1 - F(t)] = -\lambda \cdot t$$

$$-\ln[1 - F(t)] = \lambda \cdot t$$

V tomto tvaru jsou osy  $x$  a  $y$  definovány vztahem:

$$k \cdot x = \lambda \cdot t \quad (3.17.)$$

$$y = -\ln[1 - F(t)] \quad (3.18.)$$

$$q = 0 \quad (3.19.)$$

Z uvedených vztahů tedy plyne, že hodnota intenzity  $\lambda$  odpovídá hodnotě směrnice přímky  $k$ .

S využitím výše uvedených vztahů bude vytvořen bodový graf  $[F_i(m); y]$ , kde hodnotu  $F_i(m)$  je vypočtena ze vzorce (3.16.). Body grafu se proloží přímkou pomocí metody nejmenších čtverců a získaná rovnice přímky je využita k odhadu hodnoty intenzity  $\lambda$  dle uvedených vztahů. K odhadu vhodnosti modelu poslouží hodnota determinace  $R^2$ .

### 3.4.2. Odhad parametrů Weibullova rozdělení

Pro odhad parametrů dvouparametrického Weibullova rozdělení je nutné nejdříve převést distribuční funkci (3.8.) do tvaru rovnice přímky dle vzorce (3.17.).

Pro transformaci rovnice (3.8.) je provedena následující úprava:

$$1 - F(t) = -e^{-\left(\frac{t-t_o}{t_o}\right)^m}$$

$$\ln[1 - F(t)] = -\left(\frac{t}{t_o}\right)^m$$

$$\ln\{-\ln[1 - F(t)]\} = m \cdot \ln\left(\frac{t}{t_o}\right)$$

$$\ln\{-\ln[1 - F(t)]\} = m \cdot \ln(t) - m \ln(t_o)$$

V tomto tvaru jsou osy  $x$  a  $y$  definovány vztahem:

$$x = \ln(t) \quad (3.20.)$$

$$y = \ln\{-\ln[1 - F(t)]\} \quad (3.21.)$$

Z uvedených vztahů pro  $x$  a  $y$  vyplývá že hodnota parametru tvaru  $m$  je rovna hodnota směrnici přímky  $k$ .

$$m = k [-] \quad (3.22.)$$

Dále se určí parametr měřítka  $t_o$  pomocí následující rovnice, a její následnou úpravou:

$$q = -m \cdot \ln(t_o) \quad (3.23.)$$

Po úpravě:

$$t_o = e^{-\frac{q}{m}} [h] \quad (3.24.)$$

S využitím výše uvedených vztahů bude vytvořen bodový graf  $[x; y]$ , kde hodnotu  $F_i(m)$  vypočteme ze vzorce (3.16.). Body grafu se proloží přímkou pomocí metody nejmenších čtverců a získaná rovnice přímky je využita k odhadu hodnoty parametru tvaru  $m$  a určení parametru měřítka  $t_o$  dle výše uvedených vztahů. K odhadu vhodnosti modelu poslouží hodnota determinace  $R^2$ .

### 3.5 Test dobré shody Kolmogorov – Smirnov

Pro testování hypotézy o rozdělení náhodné veličiny bude použit test dobré shody dle Kolmogorov – Smirnova, z důvodu menšího objemu vstupních dat. Pro potřeby diplomové práce bude dostačující test dobré shody jedno výběrový.

Nejdříve je definována nulová a alternativní hypotéza, a to ve smyslu:

$H_0$ : nulová hypotéza, rozdělení náhodné veličiny ve výběru odpovídá distribuční funkci  $F_0(x)$ .

$H_1$ : alternativní hypotéza, rozdělení náhodné veličiny ve výběru neodpovídá distribuční funkci  $F_0(x)$ .

Postup testování náhodné veličiny:

- odhadnutí rovnice distribuční funkce náležící vybranému výběru náhodných veličin ze vstupních dat dle kapitoly 3.4.
- z odhadnutých parametrů se vypočte teoretická hodnota distribuční funkce
- definování  $H_0$  a  $H_1$ , přičemž  $H_0$  odpovídá předpokladu, že výběr odpovídá vybranému teoretickému rozdělení.  $H_1$  (alternativní hypotéza) představuje negaci  $H_0$ .
- určení testového kritéria, dle vztahu:

$$D_i = \sup |F_i(m) - F_i(l_i)| \quad (3.25.)$$

$D_i$  – testové kritérium

$F_i(m)$  – hodnota mediánového pořadí

$F_i(l_i)$  – hodnota odhadnuté teoretické distribuční funkce

- z tabulky uvedené v Příloha AA se určí kritická hodnota testu  $D_{n;1-\alpha}$ ,  
 $\alpha$  – hladina významnosti  
 $n$  – počet prvků v testovaném souboru
- porovnání testového kritéria s kritickou hodnotou, získání dvou výstupních výsledků  
 $D_i < D_{n;1-\alpha}$  – v případě tohoto výsledku nezamítnutí nulové hypotézy,  
 $D_i \geq D_{n;1-\alpha}$  – v případě tohoto výsledku zamítnutí nulové hypotézy v prospěch alternativní hypotézy.

## 4 Sběr dat

Hlavní způsob sběru dat je prováděn pomocí garančních hlášenek typu A, ty obdržela společnost DPOV od zákazníků. Vyhodnocení o uznání či neuznání garance určují garanční hlášenky typu B. Obě garanční hlášenky vycházejí z předpisu ČD V 25. Vyplněné garanční hlášenky jsou uvedeny v přílohách.

- Hlášenka typu A – dle předpisu ČD V 25. Jedná se tedy o ekvivalent hlášení o vadě v záruční době, která je dále specifikována ve smlouvě mezi DPOV a zákazníkem. V této hlášenke je specifikováno číslo ŽKV, popřípadě označení dílu, na kterém došlo k poruše, případná identifikace příčiny poruchy. Dále je zde uvedeno místo odstavení a relevantní informace k řešení garanční zakázky.
- Hlášenka typu B – dle předpisu ČD V 25. Obsahuje informace o čísle ŽKV, popřípadě označení dílu. Dále obsahuje rozhodnutí o uznání/neuznání garance. V případě uznání garance obsahuje identifikaci příčiny závady, místo opravy, datum a čas navrácení do provozu a další relevantní informace k řešení garanční zakázky.

Údaje o garančních hlášeních se dále zadávají do programu SAP. Pro tuto práci byly vybrány výstupy pro garanční hlášení, materiál garančních zakázek a materiál zakázek oprav. V softwaru SAP, není přímo specifikovaný komponent, který je reklamován, ani kilometrický proběh vozidla v době ohlášení garance.

Pro garanční hlášení:

- Technická místnost – představuje typ ŽKV a jeho evidenční číslo
- Zakázka původní opravy
- Datum předání ŽKV po opravě – datum předání ŽKV po půdní opravě, od tohoto data začíná garanční doba
- Závada hlášena – datum hlášení garanční zakázky, nemusí být shodné s datem garanční hlášenky typu A
- Popis závady – stručný popis závady
- Číslo garanční hlášenky A – uvádí pořadí hlášenky, specifikaci ŽKV a rok
- Datum "A" – datum vystavení garanční hlášenky typu A
- Datum "B" – datum vystavení garanční hlášenky typu B
- Přistavení do DPOV – datum přistavení ŽKV do prostor společnosti DPOV, v případě neuvedení údaje bylo vozidlo opraveno v prostorách provozovatele, nebo provozovatelem na náklady DPOV
- Garance (NE)uznána – číselné označení o uznání či neuznání garanční zakázky. Specifikace kódu garance, přičemž kód garance 00 – 08 jsou garance uznané a kód garance 99 je garance neuznaná:
  - 00 – garance byla řešena na náklady DPOV zákazníkem

- 01 – vadná subdodávka – díl
- 02 – chyba zaměstnance
- 03 – drobnost upozornění
- 05 – obchodní politika
- 06 – chyba technologie
- 07 – vadná subdodávka – služba
- 08 – vada původního dílu
- 99 – neuznáno.
- Způsob odstranění – způsob vyřešení poruchy opravou, výměnou, nebo řešeno externí firmou
- Suma nákladů – celková suma nákladů
- Délka opravy – délka opravy ve dnech, v případě kódu garance 00 je uvedená hodnota nulová
- Text – závada popsaná pracovníky DPOV, v některých případech tato informace nebyla doplněna

Pro materiál garančních zakázek a materiál zakázek oprav:

- Materiál – číselný kód značení použitého materiálu
- Označení – slovní pojmenování použitého materiálu
- Množství – množství použitého materiálu, v případě záporných hodnot byl vadný díl v záruce a proběhla reklamace u dodavatele
- Základní MJ – určuje základní množstevní jednotku
- Částka ve FM – částka nákladů za materiál/díl, v případě záporných hodnot byl vadný díl v záruce a proběhla reklamace u dodavatele
- Měna – měna ve které je udávána částka
- Technická místnost – představuje typ ŽKV a jeho evidenční číslo
- Druh ocenění – udává stav materiálu
  - NOVY – nový
  - POREN – po renovaci
  - PREN – před renovací
  - STARY – starý
  - ZANOV – zánovní

#### 4.1 Postup řešení garančních zakázek

V případě výskytu poruchy, je sepsána garanční hlášenka A, která je předána společnosti DPOV. Následně se garance interně eviduje (vytisknutí garanční hlášenky A,

následné archivování). Dále je zjišťována prvotní příčina poruchy, dle příčiny poruchy se určuje, zda je garance uznána či ne.

V případě neuznání garance se tato skutečnost neprodleně a prokazatelně oznámí zákazníkovi. Následně je vyplněna garanční hlášenka typu B, s uvedením neuznání garance.

V případě uznání garance, je provedena identifikace vadného dílu. Po identifikaci dílu se rozhoduje, zda lze poruchu odstranit ve lhůtě stanovené SOD, nebo dojde k prodloužení garanční opravy, z důvodu eliminování možnosti platby penále za pozdní odstranění garance.

Při reklamaci se zjišťuje, zda za příčinou garance je vadný díl, případně je-li vadný díl v záruce. V případě, kdy je vadný díl v záruce, a je reklamace dodavatelem uznána, nastávají dvě možnosti. Odstranění závady dodavatelem, nebo odstranění závady na náklady dodavatele. V případě odstranění závady na náklady dodavatele jsou náklady vykázány v systému SAP. Následuje ukončení zakázky garanční hlášenkou B, finanční vyrovnání a evidování informací do systému SAP.

Pokud není příčinou poruchy vadná dodávka, nebo není možnost provést reklamaci dané dodávky, je nutné garanční zásah provést na náklady DPOV. Garanční zásah tedy provedou zaměstnanci DPOV, či smluvní subjekt (externí organizace). Následuje konečné stanovení nákladů a ukončení případu garanční hlášenkou typu B.



## 5 Analýza dat o bezporuchovosti a udržitelnosti se zaměřením na jednotlivé celky ŽKV v záruční době

### 5.1 Specifikace sběru dat

Vybraná data mapují provoz vozidel během záruční doby po provedené hlavní opravě. Data odpovídají hlášeným garančním poruchám během dvou let provozu. Pozorovaná data garancí jsou z let 2014 až 2018.

Během sledovaného období, byla provedena hlavní oprava na třiceti dvou vozidlech typu 362 a dvaceti vozidlech typu 363. Z padesáti dvou vozidel jich bylo čtyřicet šest minimálně jednou reklamováno. Pro zbylých šest vozidel, buď nebyla garance uznána, nebo nebyla hlášena. Celkový počet garančních hlášení byl 430. Hlášení byla rozdělena dle skupin údržby.

Pro denní kilometrický proběh byla uvažována data z Tabulka 2.2.

### 5.2 Zpracování dat

Jelikož se garance vztahuje na všechny prvky ŽKV, bylo potřeba vozidlo rozdělit na jednotlivé skupiny prvků. Nabízelo se rozdělení dle technické dokumentace. Z důvodu nevhodného navázání na systém údržby, bylo od této možnosti upuštěno. Rozdělení proběhlo dle rozdělení v plánu údržby. Výjimkou byl trakční stejnosměrný motor, který byl vzhledem k nákladům a množství garančních hlášení oddělen od elektrického zařízení.

Při zpracovávání dat nastal problém ohledně dřívějšího vystavení hlášenky typu B než A, neboli garance byla vyřešena dříve, než byla nahlášena. Tento případ nastával, pokud poruchu odstranil provozovatel na náklady DPOV.

Případy, kdy doba mezi hlášenkou A a hlášenkou B, je delší než šedesát dní, byla definována jako chyba lidského faktoru pozdějším odevzdáním dané hlášenky.

Případy nesprávně uvedených dat a případy nespadající do výše uvedených případů byly odstraněny. Odstraněny byly také neuznané garance.

#### 5.2.1. Základní parametry

Z upraveného vstupního souboru bylo možné určit střední dobu bezporuchového provozu a střední dobu obnovy. Z těchto parametrů je určen ustálený součinitel pohotovosti jednotlivých vozidel i celé flotily.

$$A1 = \frac{T_{SP}}{T_{SP} + T_{SO}} \quad (5.1.)$$

$T_{SP}$  – střední doba bezporuchového stavu [h]

$T_{SO}$  – střední doba obnovy [h]

$A1$  – ustálený součinitel pohotovosti

Ustálený součinitel nepohotovosti určíme dle následujícího vztahu:

$$A0 = 1 - A \quad (5.2.)$$

Doby v obnově během preventivní údržby byly z důvodu neznalosti těchto dob zanedbávány.

Tabulka 5.1 Pohotovost flotily vozidel 362/363 během garanční doby

$T_{SO}$ [dny]	3
$T_{SO}$ [km]	1 808,22
$T_{SP}$ [dny]	55
$T_{SP}$ [km]	33 150,7
$A1$	0,943
$A0$	0,057

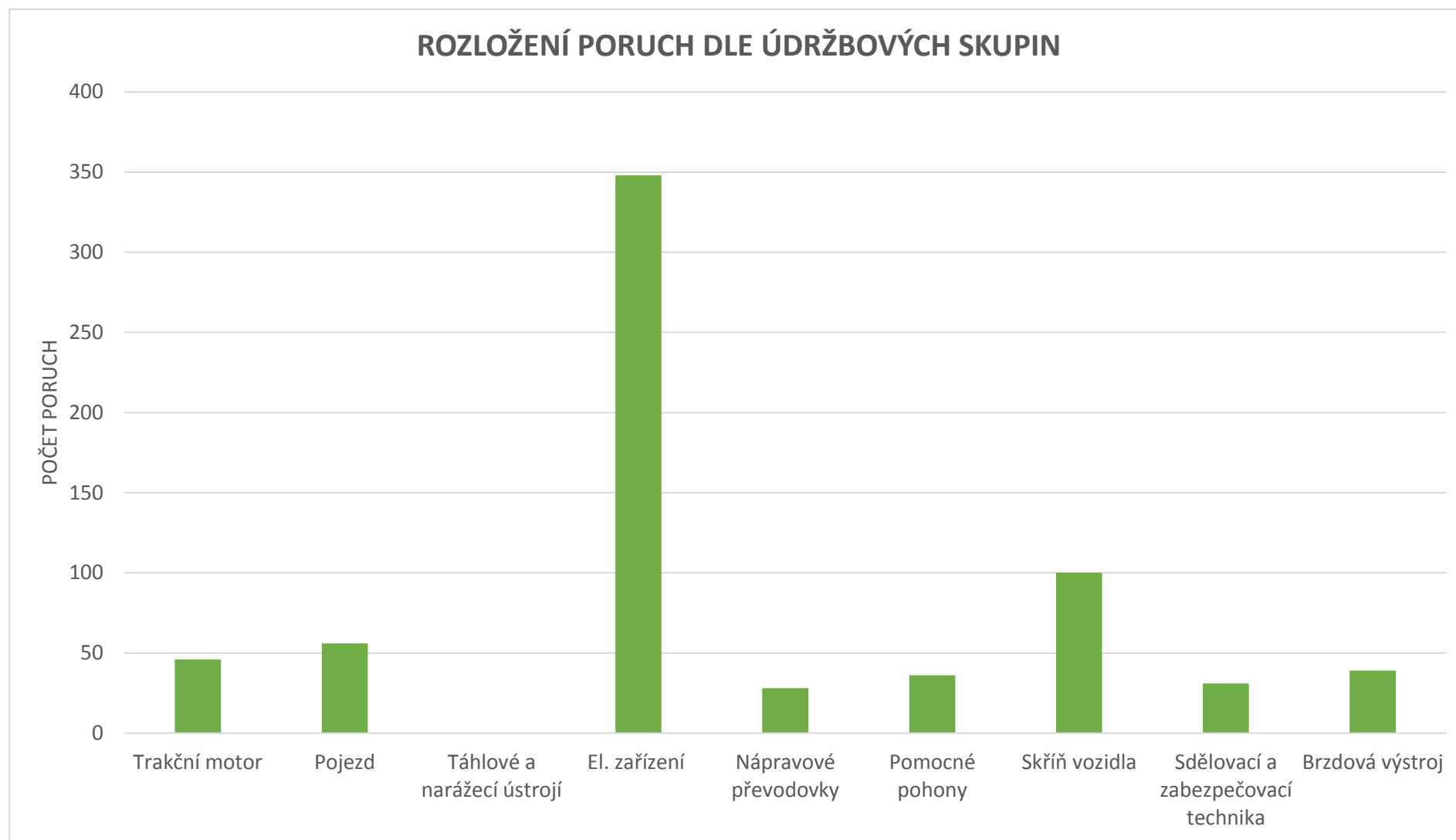
Pro zpracování analýzy dat o bezporuchovosti byl vstupním souborem výpis garančních hlášení ze softwaru SAP. Ve vstupním dokumentu nebyly definovány komponenty vozidel, kterých se daná garance týkala. Vstupní dokument musel být o tyto data doplněn. Data byla archivována pomocí uložených garančních hlášenek typu A v archivu společnosti DPOV. Garanční hlášení byla doplněna z archivovaných garančních hlášenek A od roku 2014.

Po doplnění údajů do vstupního souboru byla jednotlivá garanční hlášení dle potřeby rozdělena. Důvodem rozdělení bylo více reklamovaných komponentů, či odstranění z důvodu nedostatku informací.

Data byla následně rozdělena do údržbových skupin, dle jejích prvků. Jak již bylo uvedeno trakční motor byl vyjmut z údržbové skupiny elektrických zařízení a bude hodnocen samostatně. Z obrázku 5.1 můžeme vypočítat, že největším podílem se na garančních hlášeních podílí skupina elektrických zařízení a to hodnotou 348 hlášených poruch v garanční době. Druhou největší měrou se na garančních opravách podílí skříň vozidla. Mezi pojezdem a trakčními motory je rozdíl v počtu poruch 10 poruch. Pomocné

pohony, sdělovací a zabezpečovací zařízení, rychloměry a brzdová výstroj se pohybují mezi hodnotami 30 – 40 poruch hlášených v garanci. Nejmenší analyzovatelný podíl na poruchách v garanční době mají hlavní a nápravové převodovky, kloubové hřídele s počtem 28 poruch.

Táhlové a narážecí ústrojí má na poruchách v garanční době nulový podíl, tudíž tato skupina nebude analyzovaná.



Obrázek 5.1 Rozložení poruch dle údržbových skupin

### 5.3 Odhad parametrů dat dle údržbových skupin

Z důvodu rozsáhlosti údajů o poruchách v garanční době, budou v textové části uvedeny dva výpočty pro odhad parametrů. Bude se jednat o skupinu trakčních motorů a skupinu brzdové výstroje.

Pro odhad parametrů bylo nutné určit, na který parametr provozu bude vztáhnuta hodnota náhodné veličiny pro odhad pravděpodobnostního rozdělení. V tomto případě vyvstává možnost kilometrický proběh vozidla. Z důvodu neúplnosti některých garančních hlášenek typu A, byla použita doba do poruchy.

Doba do poruchy byla určena pomocí integrovaných funkcí programu Microsoft excel z data předání vozidla po opravě a datu o hlášení závady. Funkce je následující:

=KDYŽ([@[Techn.místo]]=B1;DAYS([@[Závada hláš.]];E1);

DAYS([@[Závada hláš.]];[@[Datum předání ŽKV po opravě]]))

Funkce se dotazuje, zda se jedná o stejné vozidlo, jako v předchozím kroku funkce. V případě, kdy se jedná o stejné vozidlo, se hodnota doby do poruchy určuje od data předchozí poruchy do data ohlášení poruchy. V případě, že se jedná o jiné vozidlo, je doba do poruchy určena od data předání vozidla po opravě do data ohlášení poruchy.

Pro určení doby do poruchy je nutné, aby data byla nejdříve seřazena od nejstaršího oznámení poruchy po nejnovější oznámení poruchy. Data jsou následně seřazena dle sloupce technická místnost od největší hodnoty po nejmenší. Tímto je nulová hodnota, která byla do sloupce vepsána dříve, umístěna do prvního řádku tabulky.

	B	C	E	I	J
1	Techn.místo	Datum předání ŽKV po opravě	Závada hláš.	Proběh [km]	Doba do poruchy [dny]
2	0				0
3	362023	18.9.2017	9.4.2018	39050	203
4	362023	18.9.2017	6.8.2018	78278	opravě]]))
5	362023	18.9.2017	8.8.2018	79493	2
6	362023	18.9.2017	22.11.2018	129660	106
7	362062	27.8.2015	15.1.2016	69933	141
8	362078	19.4.2018	8.8.2018	28555	111
9	362109	5.11.2015	1.3.2016	41711	117

Obrázek 5.2 Určení doby do poruchy

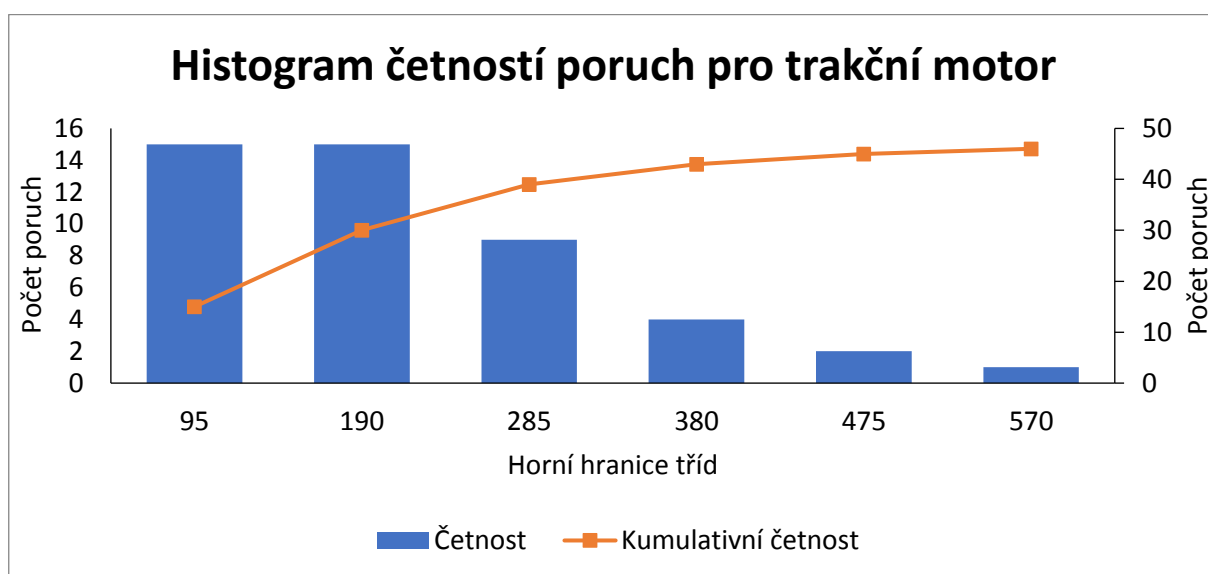
Vypočtená doba do poruchy je dále využívána při odhadu parametrů rozdělení. Při odhadu rozdělení pomocí lineární regrese nabývá uspokojivých výsledků hodnota determinace  $R^2$  hodnot v intervalu  $<0,9;1>$ .

### 5.3.1. Odhad parametrů trakčních motorů

Odhad parametrů rozdělení trakčních motorů bude proveden dle kapitoly 3.41.2.

Nejprve je nutné dle histogramu poruch odhadnout typ pravděpodobnostního rozdělení. Histogram vytvoříme pomocí analýzy dat.

Následně byly hodnoty dob do poruchy vzestupně seřazeny a pro další postup jím bylo přiřazeno pořadové číslo (1- $n$ ). Po seřazení hodnot a přiřazení pořadového čísla bylo každé hodnotě doby do poruchy přiřazeno mediánového pořadí dle funkce (3.16.). Dále bylo pokračováno dle kapitoly 3.4, odhadnutím šířky tříd, z minimální doby do poruchy, maximální doby do poruchy a počtu událostí. Pro následné vytvoření histogramu byla využita integrovaná funkce Microsoft excel.



Obrázek 5.3 Histogram rozdělení četností pro trakční motor

Z histogramu je možné odhadnout, že se jedná o Weibullovo rozdělení. Odhad bude prováděn dle kapitoly 3.4.2. Transformací rovnice distribuční funkce a definováním osy  $x$  a  $y$  jako rovnic (3.21.) a (3.22.).

Určení mediánového pořadí:

$$F_i(m) = \frac{n_i - 0,3}{n + 0,4}$$

$$F_1(m) = \frac{n_1 - 0,3}{n + 0,4} = \frac{1 - 0,3}{46 + 0,4} = 0,015086$$

Následuje určení bodu pro osy  $x$  a  $y$ :

$$y_i = \ln\{-\ln[1 - F_i(m)]\}$$

$$y_1 = \ln\{-\ln[1 - F_i(m)]\} = \ln\{-\ln[1 - 0,015086]\} = -4,18638$$

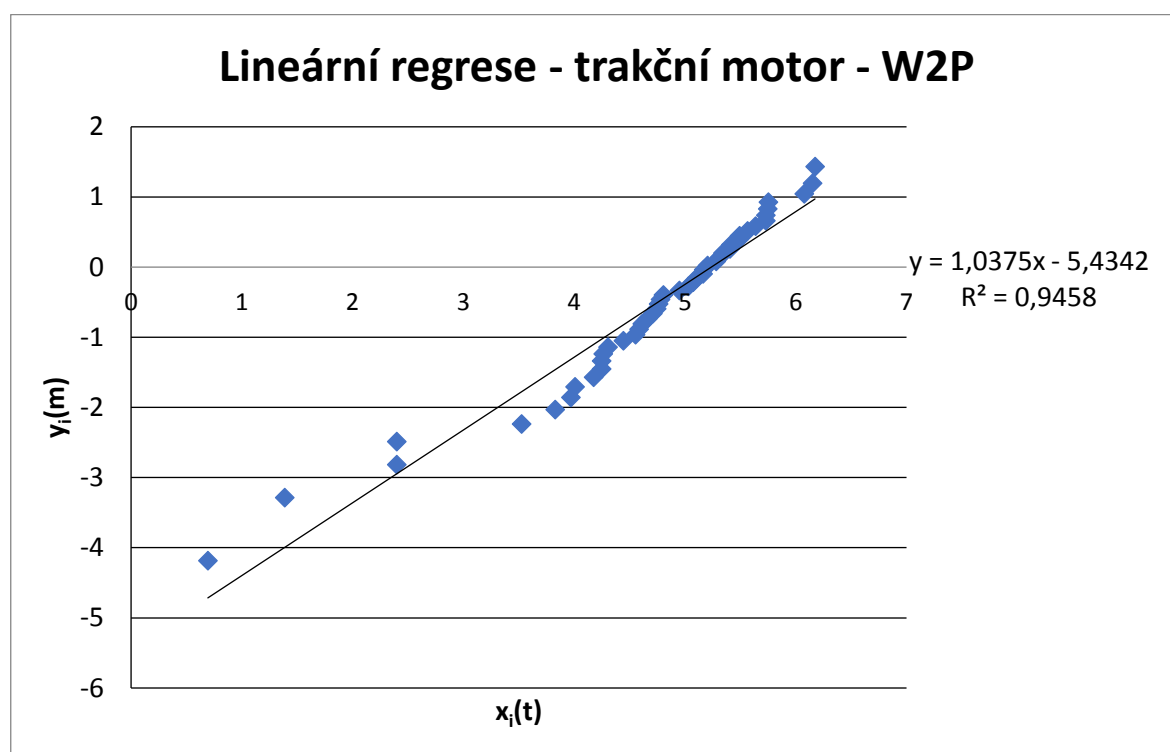
$$x_i = \ln(t_i)$$

$$x_1 = \ln(t_1) = \ln(2) = 0,693147$$

Tabulka 5.2 Příklad výpočtů odhadu parametrů Weibullova rozdělení pro trakční motor

Doba do poruchy [dny]	Poř. číslo	$F_i(m)$	$y_i(m)$	$x_i(t)$
2	1	0,015086	-4,18638	0,693147
4	2	0,036638	-3,28807	1,386294
11	3	0,05819	-2,81422	2,397895
11	4	0,079741	-2,4877	2,397895
34	5	0,101293	-2,23681	3,526361

Z těchto údajů byl sestrojen bodový graf, kterým se následně proložila lineární spojnice trendu. Byla vygenerována rovnice přímky, zobrazena hodnota determinace.



Obrázek 5.4 Graf lineární regrese pro trakční motor

Z grafu lineární regrese pro trakční motor byly z rovnice přímky určeny parametry Weibullova rozdělení při uvažování rovnice (3.29.) a rovnice (3.31.). Dále byla provedena kontrola hodnoty determinace  $R^2$ , která je uspokojivá při hodnotě 0,9458. Určení parametrů rozdělení je následující:

$$m = k$$

$$m = k = 1,0375$$

$$t_o = e^{-\frac{q}{m}} [dny]$$

$$t_o = e^{-\frac{q}{m}} = e^{-\frac{-5,4342}{1,0375}} = 188,2523 [dny]$$

Rovnice distribuční funkce a pravděpodobností funkce jsou následující:

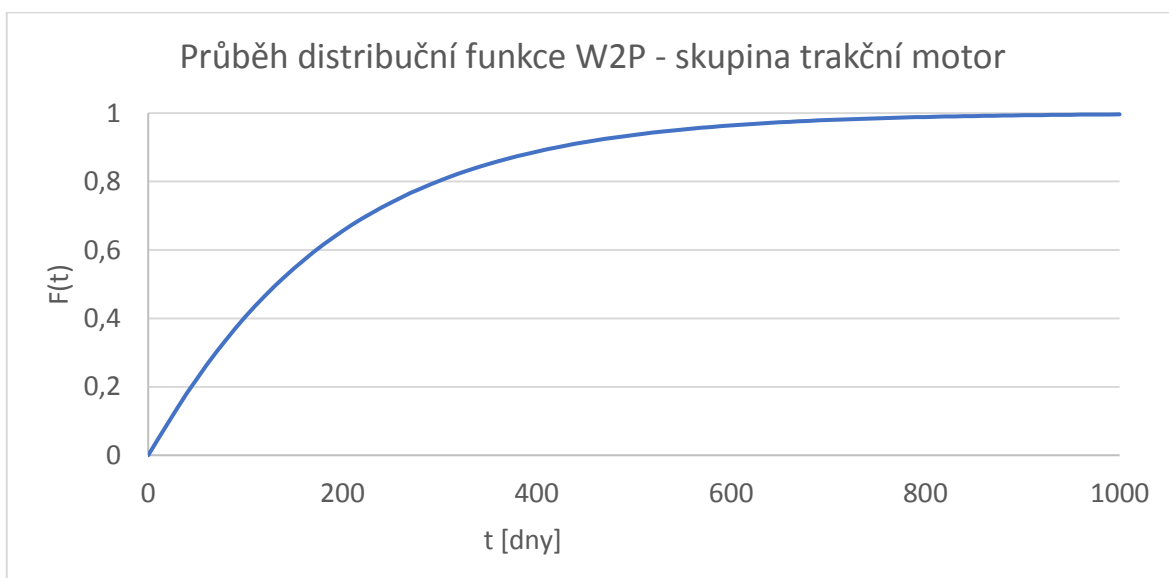
$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{t_o}\right)^m} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{188,2523}\right)^{1,0375}}$$

$$f(t) = \frac{m}{t_o} \cdot \left(\frac{t}{t_o}\right)^{m-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{t_o}\right)^m} = \frac{1,0375}{188,2523} \cdot \left(\frac{t}{188,2523}\right)^{1,0375-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{188,2523}\right)^{1,0375}}$$

Níže je uvedená tabulka parametrů rozdělení se střední dobou do poruchy a jejím odhadovaným ekvivalentním proběhem. Z parametru tvaru můžeme odhadovat, že rozdělení bude přecházet v rozdělení exponenciální.

Tabulka 5.3 Parametry Weibulova rozdělení pro trakční motor

$m$	1,0375
$t_o [dny]$	188,2523
$E(t) [dny]$	185
$E(t) [km]$	111 794



Obrázek 5.5 Průběh distribuční funkce W2P rozdělení pro skupinu trakční motor



Z průběhu distribuční funkce byla potvrzena domněnka, že Weibullovo rozdělení bude přecházet v rozdělení exponenciální. Což potvrzuje variabilitu Weibullova rozdělení.

Následně je vhodné provést testování o dobré shodě. Test bude proveden dle kapitoly 3.5, test dobré shody dle Kolmogorov – Smirnova.

Nejdříve definujeme nulovou a alternativní hypotézu pro odhadnutou distribuční funkci:

$H_0$ : rozdělení náhodné veličiny ve výběru odpovídá distribuční funkci:

$$F_0(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{188,2523}\right)^{1,0375}}$$

$H_1$ : rozdělení náhodné veličiny ve výběru neodpovídá distribuční funkci  $F_0(t)$ .

Vypočteme testové kritérium  $D_i$  dle rovnice (3.26.) a nalezneme jeho maximum. Poté určíme kritickou hodnotu testu  $D_{n;1-\alpha}$  na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  dle tabulky uvedené v Příloha AA.

$$D_1 = |F_1(m) - F_1(t_1)| = |0,015086 - 0,008919315| = 0,006166892$$

Přičemž maximum odpovídá hodnotě:

$$D_i = \sup |F_i(m) - F_i(t_i)| = 0,1011867$$

Pro splnění nulové hypotézy musí výsledné hodnoty splňovat následující vztah, ve kterém kritická hodnota odpovídá hodnotě 0,196, dle Příloha AA, pro  $n = 46$  a  $\alpha = 0,05$ :

$$D_i < D_{n;1-\alpha}$$

$$0,1011867 < 0,196$$

Dle výše uvedené nerovnosti můžeme tvrdit, že nezamítáme nulovou hypotézu a s 95% pravděpodobností je tvrzení o distribuční funkci pravdivé.

Tabulka 5.4 Příklad výpočtu testového kritéria pro trakční motor

Doba do poruchy [dny]	Poř. číslo	$F_i(m)$	$F_i(t)$ W2P	$D_i$
2	1	0,015086	0,008919315	0,006166892
4	2	0,036638	0,018222453	0,018415478
11	3	0,05819	0,051173506	0,00701615
11	4	0,079741	0,051173506	0,028567874
34	5	0,101293	0,155813323	0,05452022

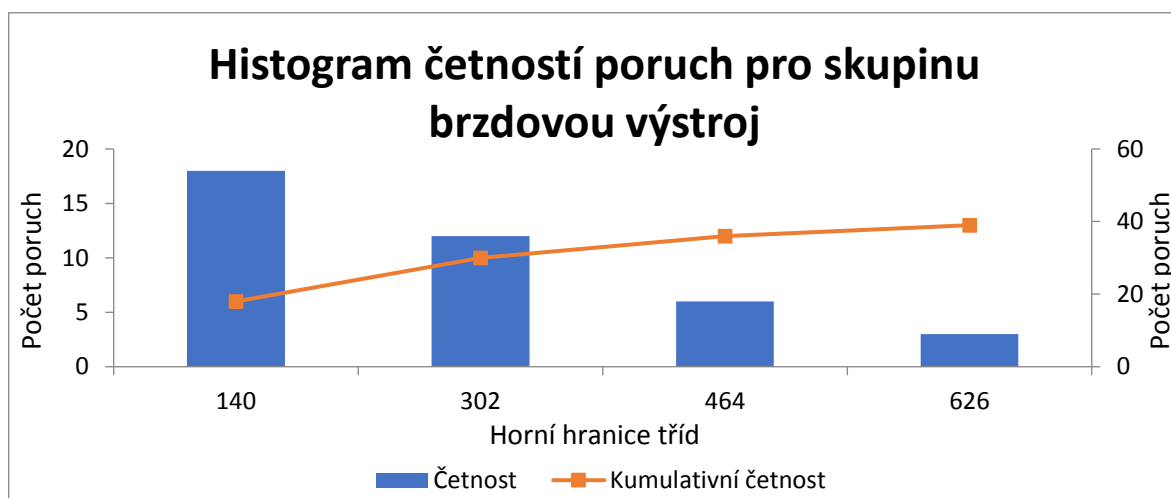
### 5.3.2. Odhad parametrů brzdové výstroje

Základní postup odhadu parametrů údržbové skupiny brzdové výstroje bude shodný s odhadem parametrů pro skupinu trakčních motorů. Rozdíly budou vyzdvihnuty.

Tabulka 5.5 Parametry pro vytvoření histogramu brzdové výstroje

Min	7
Max	624
N	39
Šířka třídy	126,1484
Šířka třídy – zvolená	162

Zvolená šířka tříd je rozdílná z důvodu odstranění více špiček. Z níže zobrazeného histogramu bylo odhadnuto, že se jedná o rozdělení exponenciální. Tento odhad bude dále ověřován.



Obrázek 5.6 Histogram rozdělení četností pro brzdovou výstroj

Odhad bude prováděn dle kapitoly 3.4.2. Transformací rovnice distribuční funkce a definováním osy  $x$  jako hodnota  $F_i(m)$  a  $y$  jako rovnici (3.19.).

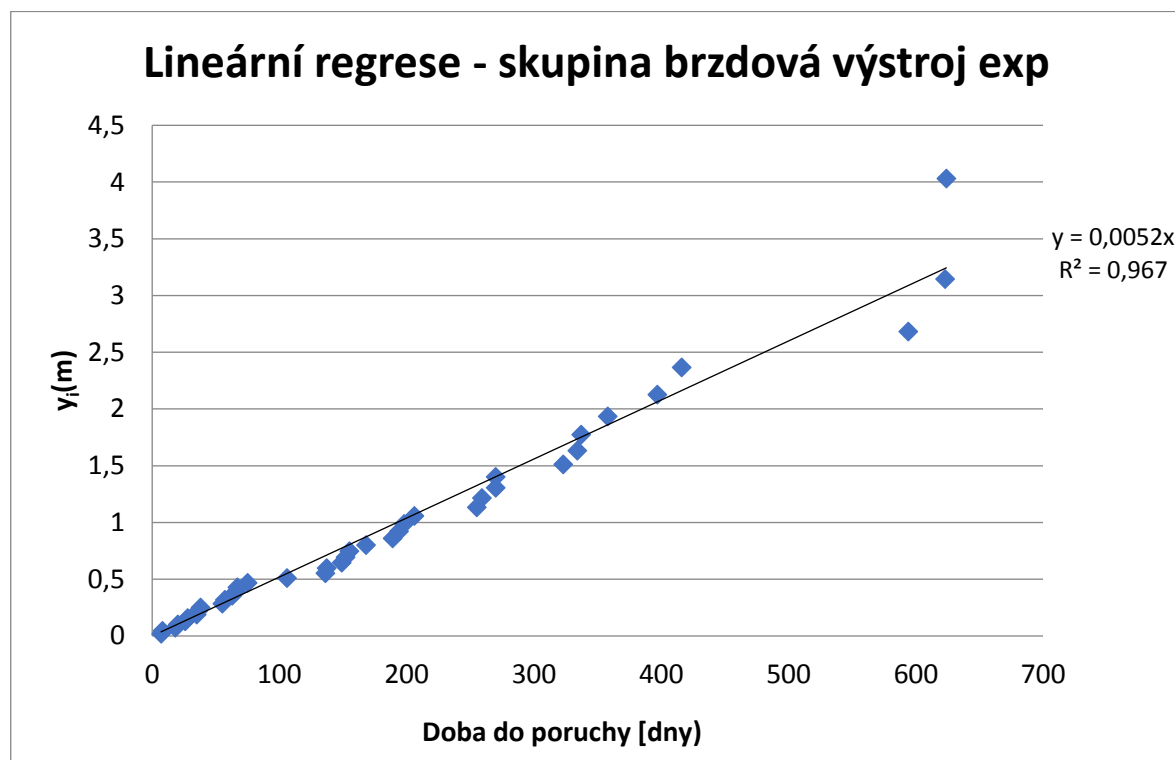
$$y_i = -\ln[1 - F_i(m)]$$

$$y_1 = -\ln[1 - F_1(m)] = -\ln[1 - 0,017766] = 0,017926$$

Tabulka 5.6 Příklad výpočtů odhadu parametrů exponenciálního rozdělení pro brzdovou výstroj

Doba do poruchy [dny]	Poř. číslo	$F_i(m)$	$y_i(m)$
7	1	0,017766	0,017926
8	2	0,043147	0,044106
18	3	0,068528	0,070989
20	4	0,093909	0,098615
26	5	0,119289	0,127026

Z vypočtených dat byl obdobným způsobem vytvořen bodový graf, kterým byla proložena lineární spojnice trendu. Byla vygenerována rovnice přímky a zobrazena hodnota determinace.



Obrázek 5.7 Graf lineární regrese pro brzdovou výstroj

Z grafu lineární regrese pro brzdovou výstroj byly z rovnice přímky určeny parametry exponenciálního rozdělení dle rovnice (3.18.). Dále byla kontrolována hodnota determinace  $R^2$ , která byla při hodnotě 0,967 uznána za vyhovující. Určení parametrů rozdělení je následující:

$$k \cdot x = \lambda \cdot t$$

$$\lambda = k = 0,0052 \text{ [dny}^{-1}\text{]}$$

Rovnice distribuční funkce a pravděpodobností funkce je:

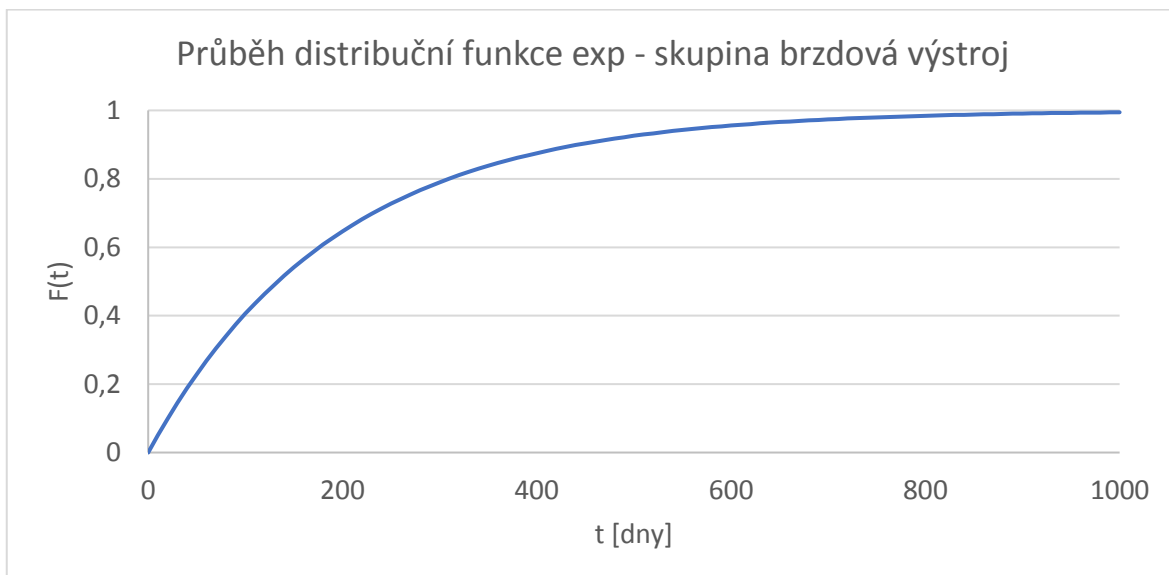
$$F(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t} = 1 - e^{-0,0052 \cdot t}$$

$$f(t) = \lambda \cdot t e^{-\lambda \cdot t} = 0,0052 \cdot t e^{-0,0052 \cdot t}$$

Níže je uvedená tabulka parametrů rozdělení se střední dobou do poruchy a jejím odhadovaným ekvivalentním proběhem.

Tabulka 5.7 Parametry exponenciálního rozdělení pro brzdovou výstroj

$\lambda$ [dny <sup>-1</sup> ]	0,0052
$E(t)$ [dny]	192
$E(t)$ [km]	115 911,5



Obrázek 5.8 Průběh distribuční funkce exponenciálního rozdělení pro skupinu brzdová výstroj

Průběh distribuční funkce zobrazuje exponenciální rozdělení v čase 1000 dní. Při výše uvedeném tvaru distribuční funkce.

Následně je provedeno testování hypotézy o dobré shodě. Test je proveden dle kapitoly 3.5. Test je proveden obdobně jako v případě testu pro trakční motor.

Definování hypotéz:

$H_0$ : rozdělení náhodné veličiny ve výběru odpovídá distribuční funkci:

$$F_o(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t} = 1 - e^{-0,0052 \cdot t}$$

$H_1$ : rozdělení náhodné veličiny ve výběru neodpovídá distribuční funkci  $F_o(t)$ .

Testové kritérium  $D_i$  je určeno dle rovnice (3.26.) a určením jeho maxima. Následně byla nalezena kritická hodnota testu,  $D_{n;1-\alpha}$  na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ , dle tabulky uvedené v Příloha AA.

$$D_1 = |F_1(m) - F_1(t_1)| = |0,017766 - 0,035745| = 0,017979$$

Přičemž maximum odpovídá hodnotě:

$$D_i = \sup|F_i(m) - F_i(t_i)| = 0,08312$$

Pro splnění nulové hypotézy musí výsledné hodnoty splňovat následující vztah, ve kterém kritická hodnota odpovídá hodnotě 0,213, dle Příloha AA, pro  $n = 39$  a  $\alpha = 0,05$ :

$$D_i < D_{n;1-\alpha}$$

$$0,08312 < 0,213$$

Dle výše uvedené nerovnosti nezamítáme nulovou hypotézu a s 95% pravděpodobností je tvrzení o distribuční funkci pravdivé.

Tabulka 5.8 Příklad výpočtu testového kritéria pro brzdovou výstroj

Doba do poruchy [dny]	Poř. číslo	$F_i(m)$	$F_i(t) \text{ exp}$	$D_i$
7	1	0,017766	0,035745	0,017979
8	2	0,043147	0,040747	0,002401
18	3	0,068528	0,089353	0,020825
20	4	0,093909	0,098775	0,004866
26	5	0,119289	0,126459	0,007169

#### 5.4 Odhad parametrů dalších údržbových skupin

Pro zbylé údržbové skupiny byl odhad rozdělení a jeho parametrů proveden obdobně jako v předchozích dvou případech. U všech skupin byl proveden test dobré shody dle Kolmogorov – Smirnova na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ , pouze v případě elektrických zařízení je hladina významnosti  $\alpha = 0,01$ . Pro úplnost jsou zobrazeny i hodnoty determinace a výsledky Kolmogorov – Smirnovova testu dobré shody. Grafy lineárních regresí a průběhu distribučních funkcí jsou umístěny v příloze, kromě výše specifikovaných případů.

#### 5.4.1. Údržbové skupiny s exponenciálním rozdělením pravděpodobnosti

Exponenciálnímu rozdělení pravděpodobnosti odpovídá skupina brzdové výstroje, pojezdů, pomocných pohonů a sdělovací a zabezpečovací techniky, rychloměry.

- Pojezdy

Tabulka 5.9 Parametry exponenciálního rozdělení pro pojezdy a hodnoty testu dobré shody

$\lambda \text{ [dny}^{-1}\text{]}$	0,0044
$E(t) \text{ [dny]}$	227
$E(t) \text{ [km]}$	136 986,4
$R^2$	0,9439
$D_i(\text{max})$	0,063082
$D_{56;1-0,05}$	0,181738

- Pomocné pohony

Tabulka 5.10 Parametry exponenciálního rozdělení pro pomocné pohony a hodnoty testu dobré shody

$\lambda \text{ [dny}^{-1}\text{]}$	0,0057
$E(t) \text{ [dny]}$	175
$E(t) \text{ [km]}$	105 743,9
$R^2$	0,9625
$D_i(\text{max})$	0,0739909
$D_{36;1-0,05}$	0,221

- Sdělovací a zabezpečovací zařízení, rychloměry

Tabulka 5.11 Parametry exponenciálního rozdělení pro sdělovací a zabezpečovací techniku, rychloměry a hodnoty testu dobré shody

$\lambda \text{ [dny}^{-1}\text{]}$	0,0043
$E(t) \text{ [dny]}$	233
$E(t) \text{ [km]}$	140 172,1
$R^2$	0,9416
$D_i(\text{max})$	0,09844
$D_{30;1-0,05}$	0,242

#### 5.4.2. Údržbové skupiny s Weibullovím rozdělením pravděpodobnosti

Weibullovu rozdělení pravděpodobnosti odpovídá skupina trakčních motorů, elektrických zařízení, hlavních a nápravových převodovek, kloubových hřídelí, a skříně vozidla.

- Elektrické zařízení

Tabulka 5.12 Parametry W2P rozdělení pro elektrické zařízení a hodnoty testu dobré shody

$m$	0,924
$t_o$ [dny]	47,80353
$E(t)$ [dny]	50
$E(t)$ [km]	29 896,8
$R^2$	0,9411
$D_i(max)$	0,083559
$D_{348;1-0,01}$	0,087377

- Hlavní a nápravové převodovky, kloubové hřídele

Tabulka 5.13 Parametry W2P rozdělení pro hlavní a nápravové převodovky, kloubové hřídele, a hodnoty testu dobré shody

$m$	1,25
$t_o$ [dny]	309,15
$E(t)$ [dny]	288
$E(t)$ [km]	173 709,0
$R^2$	0,9723
$D_i(max)$	0,108506
$D_{28;1-0,05}$	0,25

- Skříň vozidla

Tabulka 5.14 Parametry W2P rozdělení pro skříň vozidla a hodnoty testu dobré shody

$m$	0,90
$t_o$ [dny]	109,84
$E(t)$ [dny]	116
$E(t)$ [km]	69 671,5
$R^2$	0,9723
$D_i(max)$	0,077009
$D_{100;1-0,05}$	0,136

## 6 Návrh změn na základě provedených analýz s cílem zvýšit jejich efektivitu

Z odhadnutých parametrů z kapitoly 5 byla vytvořena tabulka středních dob do poruchy. Nejkratší doba do poruchy je pro systémy elektrických zařízení. Pro systémy skříně vozidla, pomocné pohony, trakční motory a brzdové výstroje se střední doby do poruchy pohybuje mezi 100 – 200 dny. Z těchto systémů byly vybrány komponenty s nejvyšším množstvím poruch.

Tabulka 6.1 Střední doby do poruchy

Systém	$E(t)$ [dny]
Trakční motor	185
Pojezd	227
Elektrická zařízení	50
Hlavní a nápravové převodovky, kloubové hřídele	288
Pomocné pohony	175
Skříň vozidla	116
Sdělovací a zabezpečovací technika, rychloměry	233
Brzdová výstroj	192

Největší množství poruch je pro komponent trakční motor a hlavní vypínač. Z důvodu bezpečnosti byl vybrán komponent DAKO-BSE. Z důvodu vysokých nákladů na prováděné garanční opravy byl vybrán komponent trakční transformátor.

Tabulka 6.2 Počet poruch vybraných komponentů

Komponent	Počet poruch
Trakční motor	45
HV	30
Převodovka	27
PULS-DELTA-A	25
ARR	24
Klimatizace stanoviště	24
UNIPULS 80 A	22
Trakční transformátor	19
VNT	18
Brzdič	15



V případě trakčních motorů je častým problémem přeskok odtrhové jiskry kartáčů při opuštění lamely komutátoru. Přeskok také způsobuje poškození lamel a komutátoru. Přeskok způsobuje zvlněný proud, kterým je trakční motor napájen. Přeskok může také způsobovat prostorová a časová neúměrnost reaktančního a komutačního napětí. V některých případech je porucha trakčních motorů spojena s poruchou na trakčním obvodu.

Pro odstranění tohoto problému by bylo vhodné porovnat hodnotu zvlnění předepsanou výrobcem s hodnotou opravdového zvlnění proudu. Dále by bylo možné provádět častější kontrolu kartáčů rotoru.

Kotevní pulsní měnič PULS-DELTA-A se projevuje účinkováním ochran a poruchou jednotlivých prvků pulsního měniče. Z hlediska spolehlivosti by bylo nejvýhodnější stávající PULS-DELTA-A nahradit IGBT moduly 750 A, 6,5 kV. Kotevní pulsní měnič tohoto typu byl použit při rekonstrukci řady 163 na řadu 363.5.

Pro prvek UNIPULSu nastávají rozdílné poruchy od destrukce rezistorů po jeho výpadek. Nejvhodnějším řešením je nahrazení stávajícího zařízení moderním s IGBT prvky.

V případě poruch hlavního vypínače nebyl objeven výrazně vyšší podíl jedné poruchy. Z tohoto důvodu by bylo vhodné hlouběji zkoumat příčinu poruch, případně provést celkovou výměnu hlavních vypínačů.

Garanční hlášení pro komponent převodovky se týkají především úniku oleje z převodovkové skříně. Návrh řešení by se mohl sestávat z kontroly a případné výměny těsnění skříně převodovky. Dalším řešením by byla výměna oleje za plastické mazivo.

Prvek ARR při jízdě sporadicky zasahuje do jízdy mimo její zadané parametry. Tato porucha v některých případech souvisí s poruchou rychloměru, porucha může také souviset s centrálním řídicím členem, obvody protiskluzové ochrany, regulátorem tahu (EDYN 22), kotevními pulsními měniči a signálem z čidel napětí kotev TM. Z toho důvodu doporučuji zjistit prvotní příčinu poruchy.

V případě garančních poruch klimatizace stanoviště je nejčastější příčinou únik kondenzátu a netěsnosti. V případě poruch těchto typů je možné opatření pouze pravidelná údržba.

Poruchy pro trakční transformátor se převážně skládají z olejové netěsnosti skříně trakčního transformátoru. Možnost změny by mohla nastávat z použití kvalitnějšího těsnění pro transformátorovou skříň.

V případě poruch vznikajících na VNT, jsou tyto poruchy ve většině případech způsobeny netěsnostmi. Navrhnutým řešením je nahrazení současně používaného komponentu za kvalitnější.

Pro poruchy brzdě, které často vznikají jeho zanesením, je možné odstranit přidáním filtru před a za brzdě. Tímto způsobem by se zamezilo průniku nečistot do brzdě, ale filtr by se mohl během provozu zaneść, což by mělo špatný vliv na jeho funkci. Jako nejvhodnější možnost se jeví výměna stávajícího potrubí brzdy za potrubí nerezové.

V případě, že by se upustilo od navrhovaných změn týkajících se skupiny elektrických prvků, nastává otázka, zda nesnížit rozsah preventivní údržby a u některých komponentů nepřejít na systém údržby po poruše.

## 7 Model nákladů LCC pro vybrané prvky

Model nákladů LCC vychází z předpokladů, že pro preventivní údržbu byly známe pouze náklady na materiál hlavní opravy. Doba pro provedení hlavní opravy nebyla definována. Pro korektivní údržbu jsou známe průměrné náklady na materiál a práci na jednotlivé garanční zásahy.

### 7.1 LCC preventivní údržby

Náklady na materiál pro hlavní opravu byly určeny jako průměrné náklady na jednotlivé hlavní opravy provedené společností DPOV. Náklady se odvíjejí od stavu vozidla a jeho komponentů. Pro vybraných 52 vozidel byly minimální náklady na materiál 1 110 696 Kč, naopak maximální náklady činily 3 972 799 Kč. Průměrné náklady na materiál hlavní opravy činily 2 449 960 Kč. Tyto průměrné náklady se uvažovaly jako potřebný obnos, na hlavní opravu po deseti letech provozu, či po 2 200 000 km. Průměrné roční náklady činí 244 996 Kč.

Tabulka 7.1 Preventivní náklady na EH

Předpokládané náklady na EH po 10 letech	2 449 960 Kč
Průměrné roční náklady na EH	244 996 Kč

### 7.2 LCC korektivní údržby

Náklady korektivní údržby byly určeny z celkových nákladů na práci a materiál garančních zakázek. Náklady byly rozpočítány na jednotlivé komponenty, u kterých byla prováděna garance.

Předpokládaný počet poruch byl určen ze střední doby do poruchy a doby v provozu během 10 let.

$$N_p = \frac{T_p}{E(t)} \quad (7.1.)$$

$N_p$  – předpokládaný počet poruch

$T_p$  – doba v provozu [dny]

$E(t)$  – střední doby do poruchy [dny]

Následně byl proveden výpočet předpokládaných průměrných nákladů na práci a na materiál. Dle následujících vzorců:

$$P_{KU} = N_p \cdot P_G \quad (7.2.)$$

$P_{KU}$  – náklady na práci korektivní údržby jednotlivých skupin [Kč]

$P_G$  – průměrné náklady na práci garanční zakázky [Kč]

$$P_{cKU} = \sum P_{KU} \quad (7.3.)$$

$P_{cKU}$  – celkové náklady na práci korektivní údržby [Kč]

$$M_{KU} = N_p \cdot M_G \quad (7.4.)$$

$M_{KU}$  – náklady na materiál korektivní údržby jednotlivých skupin [Kč]

$M_G$  – průměrné náklady na materiál garancí [Kč]

$$M_{cKU} = \sum M_{KU} \quad (7.5.)$$

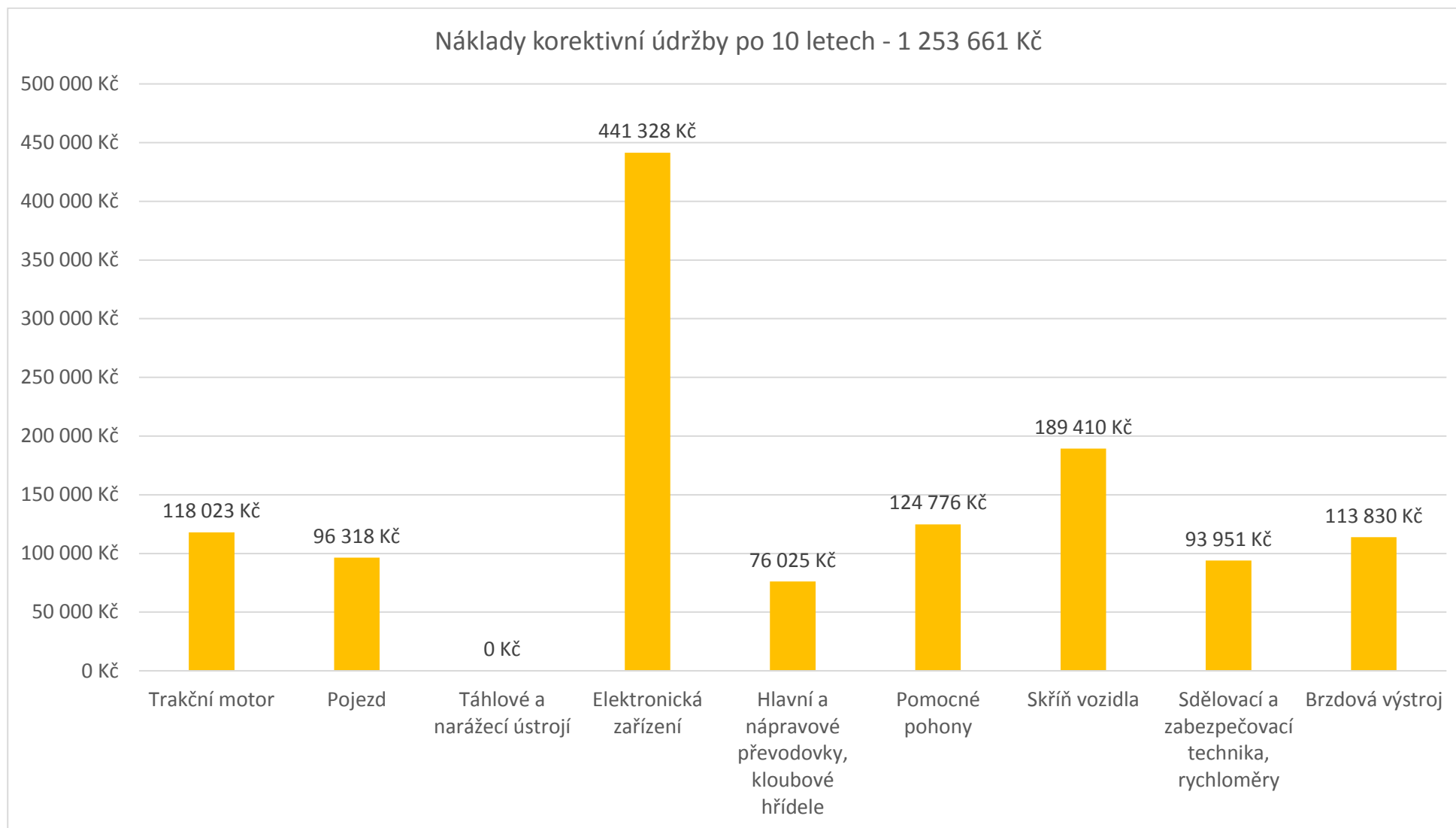
$M_{cKU}$  – celkové náklady na materiál korektivní údržby [Kč]

Následným součtem určíme celkové náklady na korektivní údržbu:

$$N_{KU} = M_{cKU} + P_{cKU} \quad (7.6.)$$

Tabulka 7.2 LCC korektivní údržby

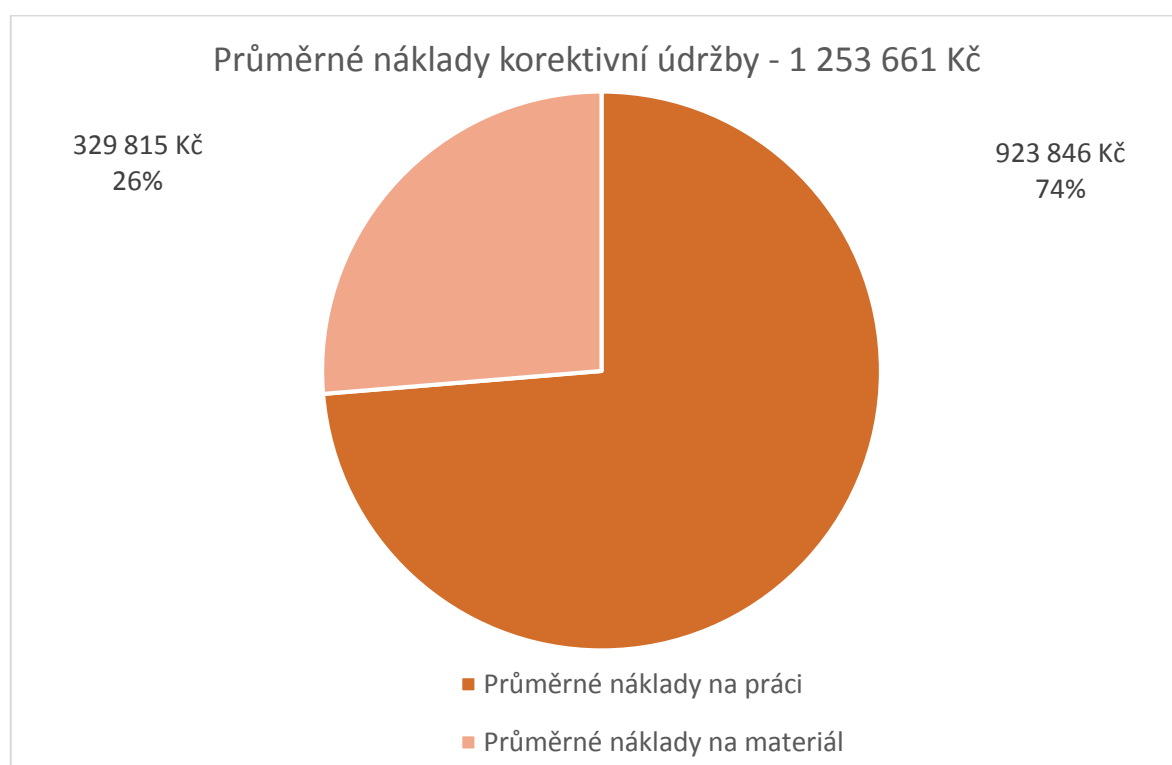
System	Střední doba do poruchy [dny]	Předpokládaný počet poruch	Průměrné náklady na práci	Průměrné náklady na materiál	Průměrné náklady údržby po poruše
Trakční motor	185	19,68	86 973 Kč	31 050 Kč	118 023 Kč
Pojezd	227	16,06	70 979 Kč	25 339 Kč	96 318 Kč
Táhlové a narážecí ústrojí	0	0,00	0 Kč	0 Kč	0 Kč
Elektrická zařízení	50	73,59	325 223 Kč	116 105 Kč	441 328 Kč
Hlavní a nápravové převodovky, kloubové hřídele	288	12,68	56 024 Kč	20 001 Kč	76 025 Kč
Pomocné pohony	175	20,81	91 950 Kč	32 826 Kč	124 776 Kč
Skříň vozidla	116	31,58	139 580 Kč	49 830 Kč	189 410 Kč
Sdělovací a zabezpečovací technika a rychloměry	233	15,67	69 234 Kč	24 717 Kč	93 951 Kč
Brzdová výstroj	192	18,98	83 884 Kč	29 947 Kč	113 830 Kč
Celkové průměrné náklady			923 846 Kč	329 815 Kč	1 253 661 Kč



Obrázek 7.1 Graf rozložení nákladů korektivní údržby – skupiny

Z Tabulka 7.2 LCC korektivní údržby 7.2 je patrné že náklady na korektivní údržbu během 10 let jsou průměrně 1 253 661 Kč. V tabulce je zobrazeno, že největší náklady jsou na korektivní údržbu elektrických zařízení. To odpovídá zjištění, že pro skupinu elektrických zařízení je předpokládáných nejvíce poruch.

Graf průměrných nákladů korektivní údržby zobrazuje, že náklady na práci jsou téměř trojnásobné oproti nákladům na materiál. To je zapříčiněno použitými daty pro náklady na materiál z garanční doby. To znamená, že některé komponenty se nacházely v garanční době a při garančních opravách, byly reklamovány u výrobce. Z tohoto důvodu se předpokládá navýšení nákladů na materiál po garanční době.



Obrázek 7.2 Graf rozložení nákladů korektivní údržby

### 7.3 Celkové náklady na údržbu

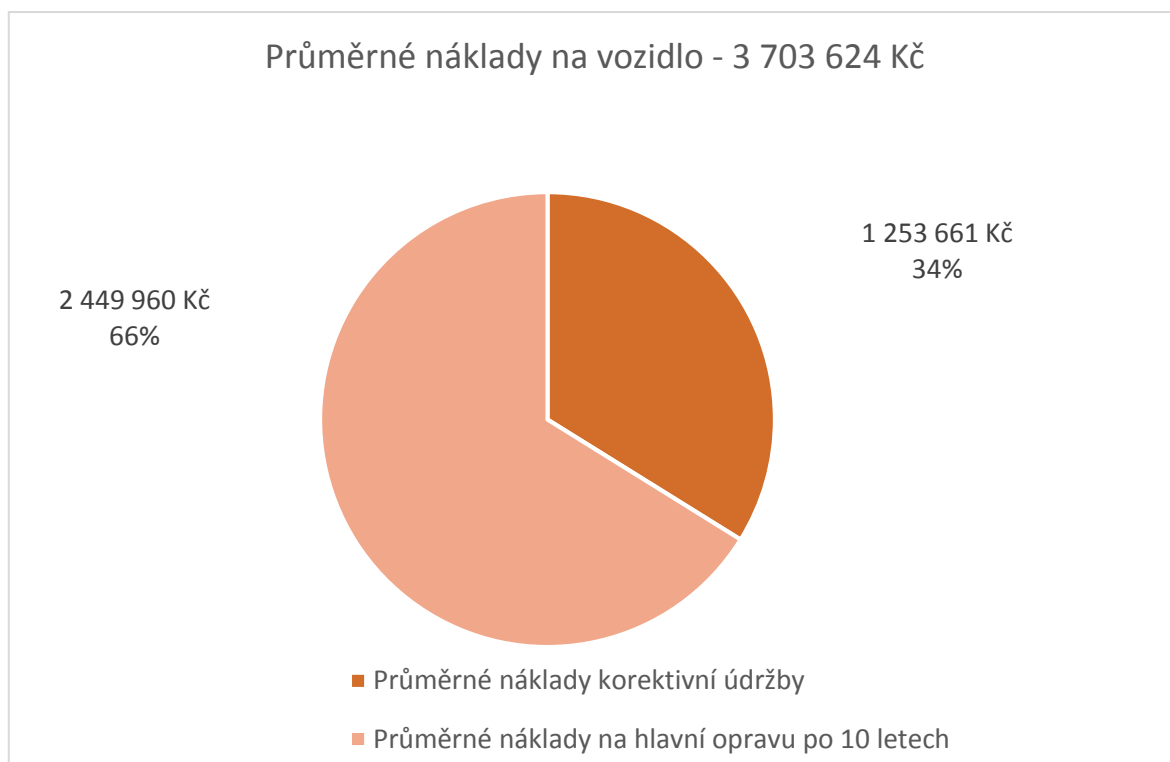
Celkové náklady na údržbu se skládají z nákladů na preventivní a korektivní údržbu.

$$N_U = N_{KU} + N_{PU} \quad (7.7.)$$

$N_{PU}$  – náklady preventivní údržby [Kč]

$N_U$  – celkové náklady na údržbu [Kč]

Následující graf zobrazuje rozdělení nákladů na údržbu jednoho vozidla po deseti letech. Z grafu je určeno, že náklady na hlavní opravu vozidla jsou přibližně dvojnásobné oproti nákladům na korektivní údržbu. Celkové průměrné náklady na údržbu jednoho vozidla činí 3 703 621 Kč.



Obrázek 7.3 Graf rozdělení nákladů údržby

V tabulce uvedené níže, jsou zobrazeny průměrné údržbové náklady v závislosti na vybraných dobách provozu a kilometrickém proběhu. Denní kilometrický proběh byl uvažován dle tabulky 2.2. Rozdělení průměrných nákladů za rok je analogické k rozdělení zobrazeném na obrázku 7.3.

Tabulka 7.3 Průměrné údržbové náklady

Průměrné náklady na údržbu za rok	370 362 Kč
Průměrné náklady na údržbu za 10 let	3 703 621 Kč
Průměrné náklady na údržbu za den	1 015 Kč
Průměrné náklady na údržbu na 1 000 Km	1 683 Kč



## 8 Závěr

Spolehlivostní analýza a odhad LCC pro vozidla řady 363/362 byly provedeny dle podkladů společnosti DPOV. Podklady se skládaly z garančních hlášenek a podkladů ze systému SAP. Analýza byla provedena z údajů z garanční doby dle specifikovaných metod. Odhad LCC byl určen pro dobu 10 let.

Pomocí vhodně zvolené analýzy byly pro jednotlivé údržbové skupiny odhadnuty parametry rozdělení. Pro jednotlivé údržbové skupiny byly odhadnuty parametry rozdělení. Střední doby do poruchy byly využity pro odhad předpokládaného počtu poruch pro určení nákladů korektivní údržby.

Tabulka 8.1 Parametry rozdělení údržbových skupin

Údržbové skupiny	$m$	$t_o$ [dny]	$\lambda$ [dny <sup>-1</sup> ]	$E(t)$ [dny]
Údržbové skupiny s W2P rozdělením				
Trakční motor	1,0375	188,25231	-	185
Elektrická zařízení	0,924	47,80353	-	50
Hlavní a nápravové převodovky, kloubové hřídele	1,25	309,15	-	288
Skříň vozidla	0,9	109,84	-	116
Údržbové skupiny s exponenciálním rozdělením				
Pomocné pohony	-	-	5,70E-03	175
Pojezdy	-	-	4,40E-03	227
Sdělovací a zabezpečovací zařízení, rychloměry	-	-	4,30E-03	233
Brzdová výstroj	-	-	5,20E-03	192

Na základě výsledků analýzy byly navrženy změny, které by mohl vést ke zvýšení spolehlivosti vozidel. Změny jsou navrženy v kapitole 6. Pro provedení navržených změn jsou stěžejní jejich náklady. Z tohoto hlediska je nejvhodnější změnou zavedení údržby po poruše údržbového systému elektrických zařízení. Další změny s nižšími vstupní náklady představují změny maziv, nebo těsnění.

Z určení LCC plyne že průměrné náklady korektivní po deseti letech provozu tvoří přibližně třetinu celkových nákladů na údržbu, které činili 3 703 624 Kč. Náklady preventivní údržby byly uvažovány pouze jako průměrné náklady na materiál hlavních oprav s částkou 2 449 960 Kč. Dále bylo určeno že průměrné předpokládané náklady korektivní údržby tvoří přibližně tři čtvrtiny z částky 1 253 661 Kč. Výše částky je způsobena reklamováním jednotlivých komponentů, a proto je jejich konečná cena snižována.

Musí se brát v potaz, že se o vozidlo, které je technicky i morálně zastaralé. Z analýzy vyplývá že jeho spolehlivost není pro dnešní dobu dostačující. Při znalosti nákladů

preventivní údržby by se celkové náklady na údržbu dále zvyšovaly. Z hlediska spolehlivosti by bylo nejvhodnější provést u vozidel celkovou rekonstrukci.

## 9 Citace a zdroje

- [1] ELEKTRICKÁ DVOUNÁPRAVOVÁ LOKOMOTIVA ŘADY ES 499.1 TYPU 69E,2: Popis mechanické a pneumatické části lokomotivy. Plzeň: Škoda, 1984.
- [2] KOLMAČKA, Rostislav, Martin TRÍSKALA a Josef MINAŘÍK. Řada 363.0 (ex ES499.1). Prototypy.cz: Stránka o prototypch a lokomotivních unikátech v ČR a SR [online]. 2001, 13.2.2012 [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <http://www.prototypy.cz/?rada=363>
- [3] FAMFULÍK, Jan, Vladimír HRANOŠ, Radek KRZYŽANEK a Zuzana GALVASOVÁ. *Spolehlivost pozemní dopravy* [online]. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská Technická univerzita Ostrava Univerzita Pardubice, 2013 [cit. 2017-02-05]. ISBN 978-80-248-3266-1. Dostupné z: [https://issuu.com/michdor/docs/m11\\_text](https://issuu.com/michdor/docs/m11_text)
- [4] Podle ústního sdělení Ing. Zbyňka Jančíka (Vedoucí úseku ISO, KŘJ a řízení rizik DPOV, a.s.) dne 24. února 2019
- [5] FAMFULÍK, Jan. *Teorie údržby*. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1029-8.
- [6] FAMFULÍK, Jan. *Zkoušky spolehlivosti*. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2010. ISBN 978-80-248-2277-8.
- [7] ČSN IEC 61650. *Techniky analýzy dat o bezporuchovosti*. 1998.
- [8] *Atlas Lokomotiv: 363 | ES 499.1* [online]. 2005 [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net>
- [9] CHMELÍK, Karel a Jiří POSPÍŠILÍK. *Elektronické stroje v energetice* [online]. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2003 [cit. 2019-05-15]. ISBN 80-248-0314-3. Dostupné z: [http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni\\_materialy/stroje/skripta/ss\\_stroje.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/stroje/skripta/ss_stroje.pdf)
- [10] EŠTOK, Petr. *Trakční měnič PULS-DELTA-A a jeho rekonstrukce*. Plzeň, 2016. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Janda Martin, Ing. Ph.D.
- [11] MAIER, David. 362.174-5. In: *ŽelPage* [online]. 2001, 6.3.2011 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.zelpage.cz/fotogalerie/big/362886.jpg>

## 10 Seznam obrázků

Obrázek 2.1 ŽKV 362 [11].....	12
Obrázek 2.2 Typový výkres řady 363 [1] .....	16
Obrázek 2.3 Průběh intenzity poruch v čase [2] .....	17
Obrázek 3.1 Spolehlivost dle IEC 50(191) .....	19
Obrázek 3.2 Dělbá nákladů LCC [2].....	20
Obrázek 3.3 Hustota pravděpodobnosti exponenciálního rozdělení [2] .....	21
Obrázek 3.4 Distribuční funkce exponenciálního rozdělení [2] .....	22
Obrázek 3.5 Distribuční funkce dvouparametrického Weibullova rozdělení.....	23
Obrázek 3.6 Změna průběhu hustoty pravděpodobnosti v závislosti na parametru tvaru [2].....	24
Obrázek 3.7 Změna průběhu hustoty pravděpodobnosti v závislosti na parametru měřítka [2] .....	24
Obrázek 3.8 Průběh intenzity poruch v čase [2] .....	25
Obrázek 5.1 Rozložení poruch dle údržbových skupin .....	36
Obrázek 5.2 Určení doby do poruchy.....	37
Obrázek 5.3 Histogram rozdělení četností pro trakční motor.....	38
Obrázek 5.4 Graf lineární regrese pro trakční motor .....	39
Obrázek 5.5 Průběh distribuční funkce W2P rozdělení pro skupinu trakční motor.....	40
Obrázek 5.6 Histogram rozdělení četností pro brzdovou výstroj.....	42
Obrázek 5.7 Graf lineární regrese pro brzdovou výstroj .....	43
Obrázek 5.8 Průběh distribuční funkce exponenciálního rozdělení pro skupinu brzdová výstroj.....	44
Obrázek 7.1 Graf rozložení nákladů korektivní údržby – skupiny .....	54
Obrázek 7.2 Graf rozložení nákladů korektivní údržby .....	55
Obrázek 7.3 Graf rozdělení nákladů údržby .....	56

## 11 Seznam tabulek

Tabulka 2.1 Technické údaje vozidel 362/363.....	14
Tabulka 2.2 Proběhy do údržby pro vozidla 362/363.....	15
Tabulka 5.1 Pohotovost flotily vozidel 362/363 během garanční doby.....	34
Tabulka 5.2 Příklad výpočtů odhadu parametrů Weibullova rozdělení pro trakční motor .....	39
Tabulka 5.3 Parametry Weibullova rozdělení pro trakční motor .....	40
Tabulka 5.4 Příklad výpočtu testového kritéria pro trakční motor .....	41
Tabulka 5.5 Parametry pro vytvoření histogramu brzdové výstroje .....	42
Tabulka 5.6 Příklad výpočtů odhadu parametrů exponenciálního rozdělení pro brzdovou výstroj .....	42
Tabulka 5.7 Parametry exponenciálního rozdělení pro brzdovou výstroj.....	44
Tabulka 5.8 Příklad výpočtu testového kritéria pro brzdovou výstroj .....	45
Tabulka 5.9 Parametry exponenciálního rozdělení pro pojezdy a hodnoty testu dobré shody .....	46
Tabulka 5.10 Parametry exponenciálního rozdělení pro pomocné pohony a hodnoty testu dobré shody.....	46
Tabulka 5.11 Parametry exponenciálního rozdělení pro sdělovací a zabezpečovací techniku, rychloměry a hodnoty testu dobré shody.....	46
Tabulka 5.12 Parametry W2P rozdělení pro elektrické zařízení a hodnoty testu dobré shody .....	47
Tabulka 5.13 Parametry W2P rozdělení pro hlavní a nápravové převodovky, kloubové hřídele, a hodnoty testu dobré shody .....	47
Tabulka 5.14 Parametry W2P rozdělení pro skříň vozidla a hodnoty testu dobré shody .....	47
Tabulka 6.1 Střední doby do poruchy.....	48
Tabulka 6.2 Počet poruch vybraných komponentů.....	48
Tabulka 7.1 Preventivní náklady na EH .....	51
Tabulka 7.2 LCC korektivní údržby .....	53
Tabulka 7.3 Průměrné údržbové náklady .....	56
Tabulka 8.1 Parametry rozdělení údržbových skupin .....	57

## 12 Seznam příloh

Příloha A – tabulka kritických hodnot pro test dobré shody Kolmogorov – Smirnov...	63
Příloha B Graf odhadu parametrů skupina pojezd – lineární regrese .....	64
Příloha C Graf průběhu distribuční funkce exponenciálního rozdělení pro skupinu pojezd .....	64
Příloha D Graf odhadu parametrů skupina pomocné pohony – lineární regrese .....	65
Příloha E Graf průběhu distribuční funkce exponenciálního rozdělení pro skupinu pomocné pohony.....	65
Příloha F Graf odhadu parametrů skupina sdělovací a zabezpečovací zařízení, rychloměry – lineární regrese .....	66
Příloha G Graf průběhu distribuční funkce exponenciálního rozdělení pro skupinu sdělovací a zabezpečovací zařízení, rychloměry.....	66
Příloha H Graf odhadu parametrů skupina elektrických zařízení – lineární regrese...	67
Příloha I Graf průběhu distribuční funkce W2P rozdělení pro skupinu elektrická zařízení .....	67
Příloha J Graf odhadu parametrů skupina hlavní a nápravové převodovky, kloubové hřídele – lineární regrese.....	68
Příloha K Graf průběhu distribuční funkce W2P rozdělení pro skupinu hlavní a nápravové převodovky, kloubové hřídele .....	68
Příloha L Graf odhadu parametrů skupina skříň vozidla – lineární regrese .....	69
Příloha M Graf průběhu distribuční funkce W2P rozdělení pro skupinu skříň vozidla	69
Příloha N Garanční hlášenka A	
Příloha O Garanční hlášenka B	

<b>n</b>	<b>D<sub>n, 0,9</sub></b>	<b>D<sub>n,0,95</sub></b>	<b>D<sub>n, 0,99</sub></b>		<b>n</b>	<b>D<sub>n, 0,9</sub></b>	<b>D<sub>n,0,95</sub></b>	<b>D<sub>n, 0,99</sub></b>
1	0,950	0,975	0,995		26	0,233	0,259	0,311
2	0,776	0,842	0,929		27	0,229	0,254	0,305
3	0,636	0,708	0,829		28	0,225	0,250	0,300
4	0,565	0,624	0,734		29	0,221	0,246	0,295
5	0,509	0,563	0,669		30	0,218	0,242	0,290
6	0,468	0,519	0,617		31	0,214	0,238	0,285
7	0,436	0,483	0,576		32	0,211	0,234	0,281
8	0,410	0,454	0,542		33	0,208	0,231	0,277
9	0,387	0,430	0,513		34	0,205	0,227	0,273
10	0,369	0,409	0,489		35	0,202	0,224	0,269
11	0,352	0,391	0,468		36	0,199	0,221	0,265
12	0,338	0,375	0,449		37	0,196	0,218	0,262
13	0,325	0,361	0,432		38	0,194	0,215	0,258
14	0,314	0,349	0,418		39	0,191	0,213	0,255
15	0,304	0,338	0,404		40	0,189	0,210	0,252
16	0,295	0,327	0,392		41	0,187	0,208	0,249
17	0,286	0,318	0,380		42	0,185	0,205	0,246
18	0,279	0,309	0,371		43	0,183	0,203	0,243
19	0,271	0,301	0,361		44	0,181	0,201	0,241
20	0,265	0,294	0,352		45	0,179	0,198	0,238
21	0,259	0,287	0,344		46	0,177	0,196	0,235
22	0,253	0,281	0,337		47	0,175	0,194	0,233
23	0,247	0,275	0,330		48	0,173	0,192	0,231
24	0,242	0,269	0,323		49	0,171	0,190	0,228
25	0,238	0,264	0,317		50	0,170	0,188	0,226

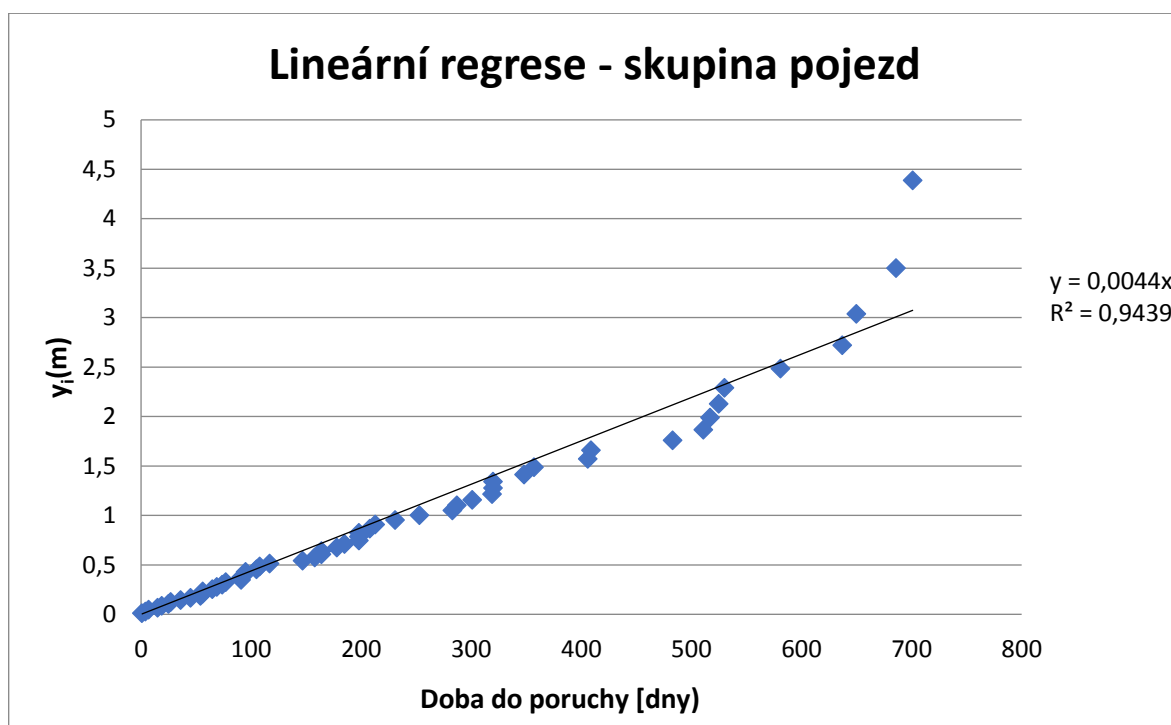
Pro  $n > 50$  platí přibližně:

$$D_{n;0,9} = \frac{1,22}{\sqrt{n}},$$

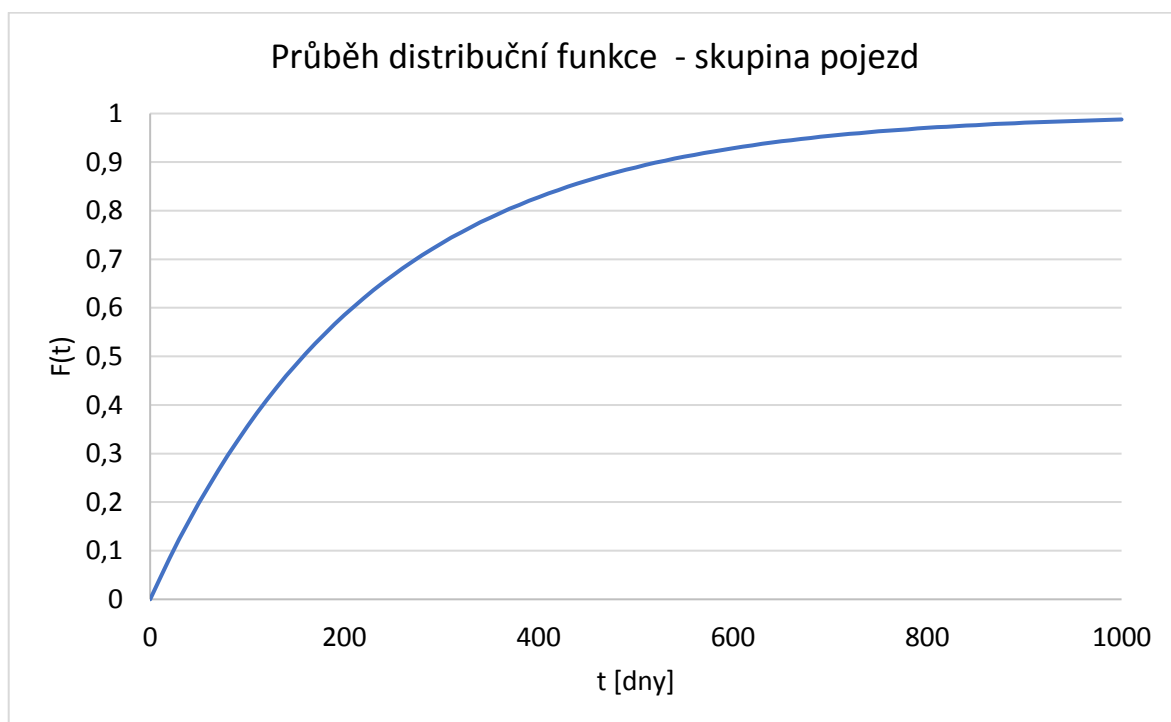
$$D_{n;0,95} = \frac{1,36}{\sqrt{n}},$$

$$D_{n;0,99} = \frac{1,63}{\sqrt{n}}$$

Příloha A – tabulka kritických hodnot pro test dobré shody Kolmogorov – Smirnov

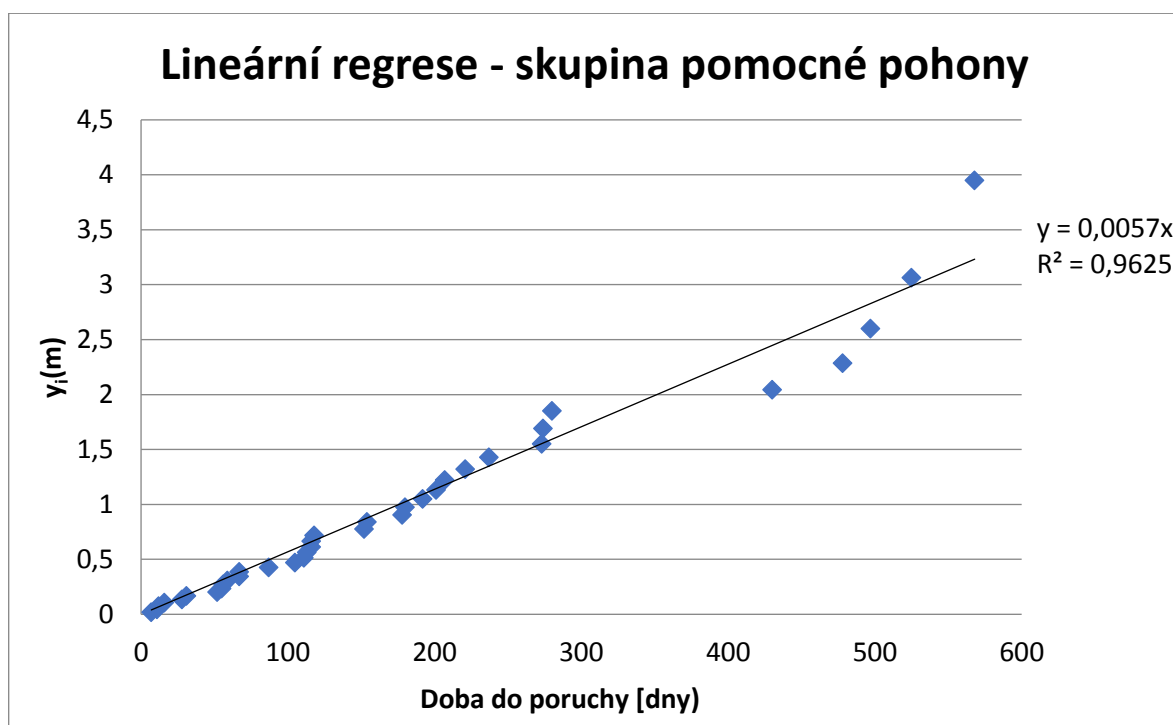


Příloha B Graf odhadu parametrů skupina pojezd – lineární regrese

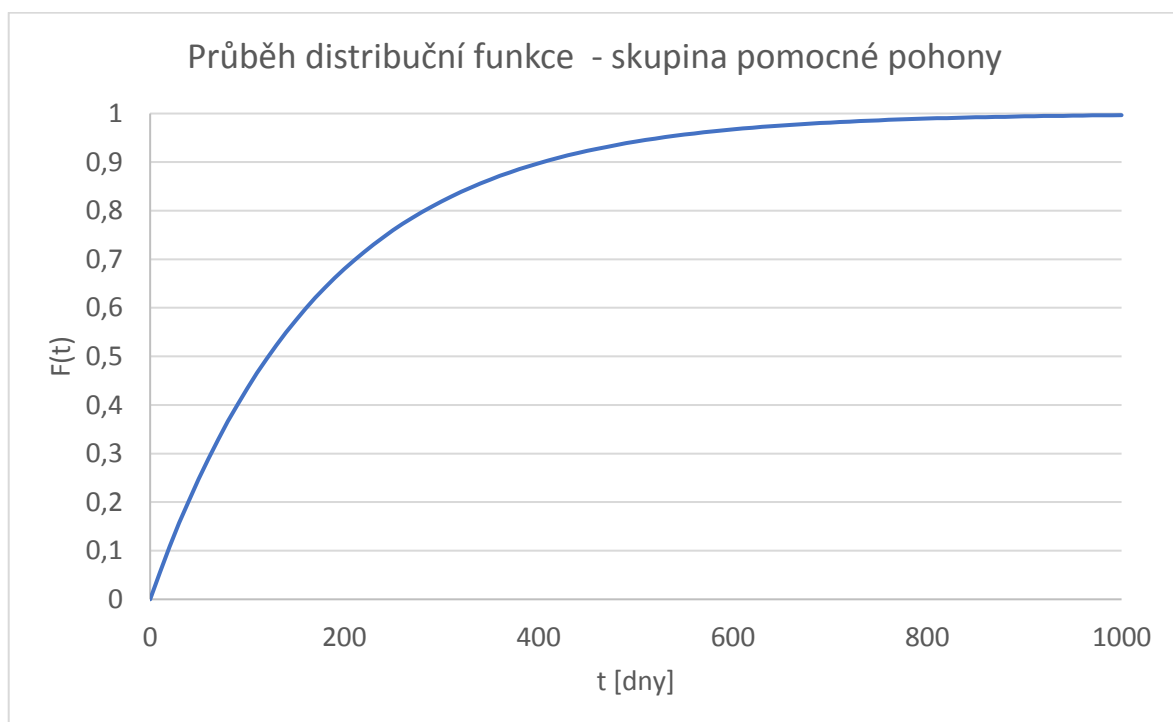


Příloha C Graf průběhu distribuční funkce exponenciálního rozdělení pro skupinu pojezd

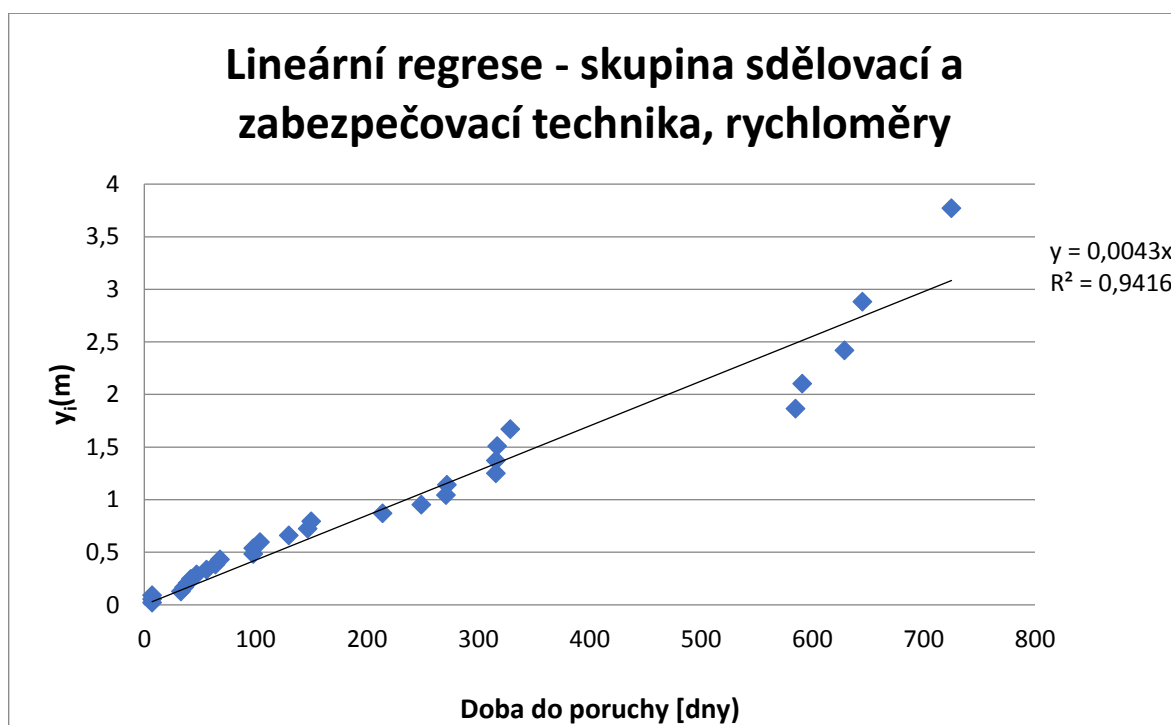




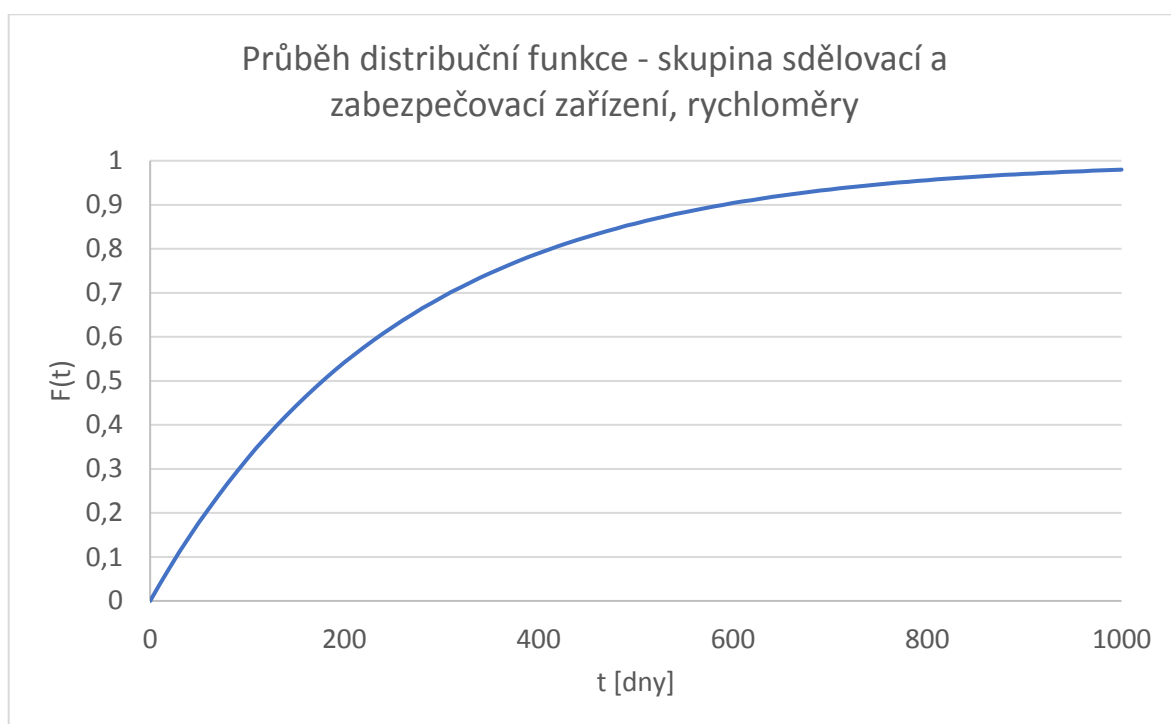
Příloha D Graf odhadu parametrů skupina pomocné pohony – lineární regrese



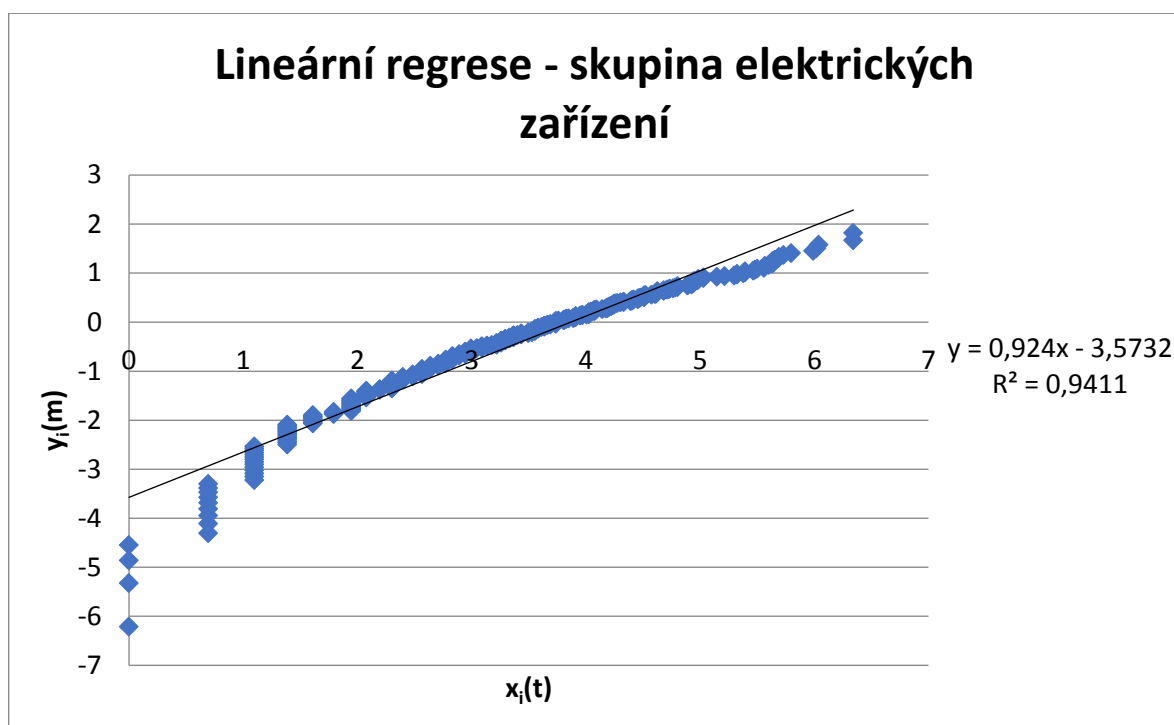
Příloha E Graf průběhu distribuční funkce exponenciálního rozdělení pro skupinu pomocné pohony



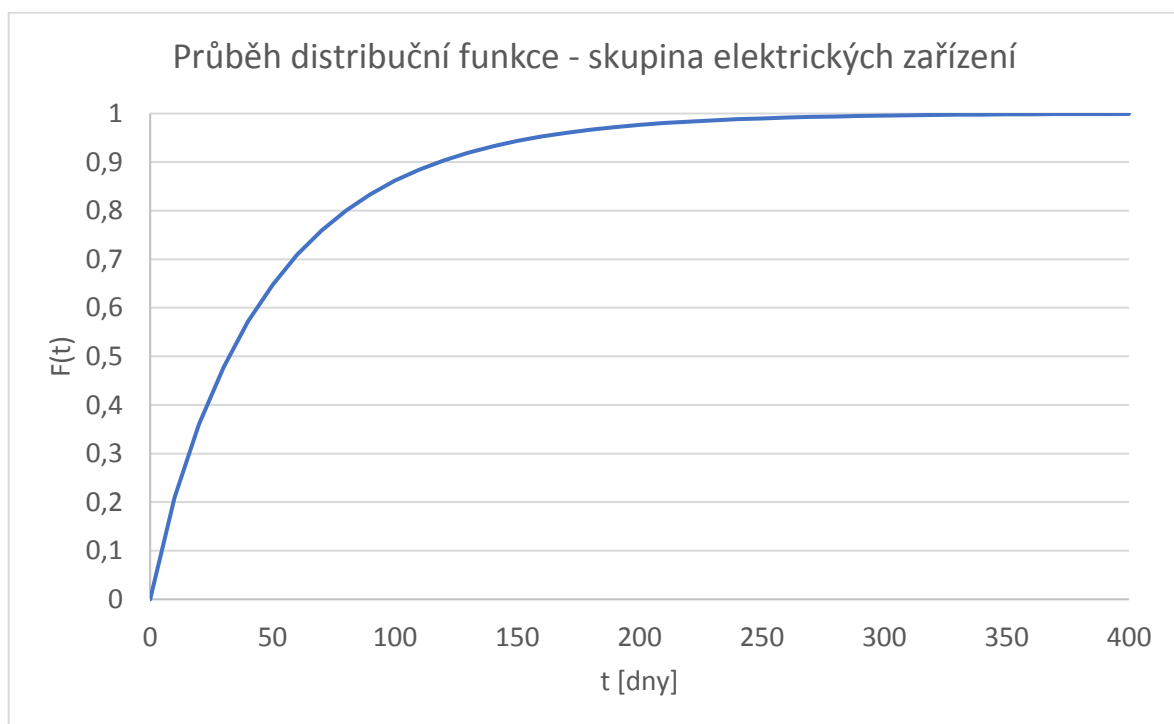
Příloha F Graf odhadu parametrů skupina sdělovací a zabezpečovací zařízení, rychloměry – lineární regrese



Příloha G Graf průběhu distribuční funkce exponenciálního rozdělení pro skupinu sdělovací a zabezpečovací zařízení, rychloměry



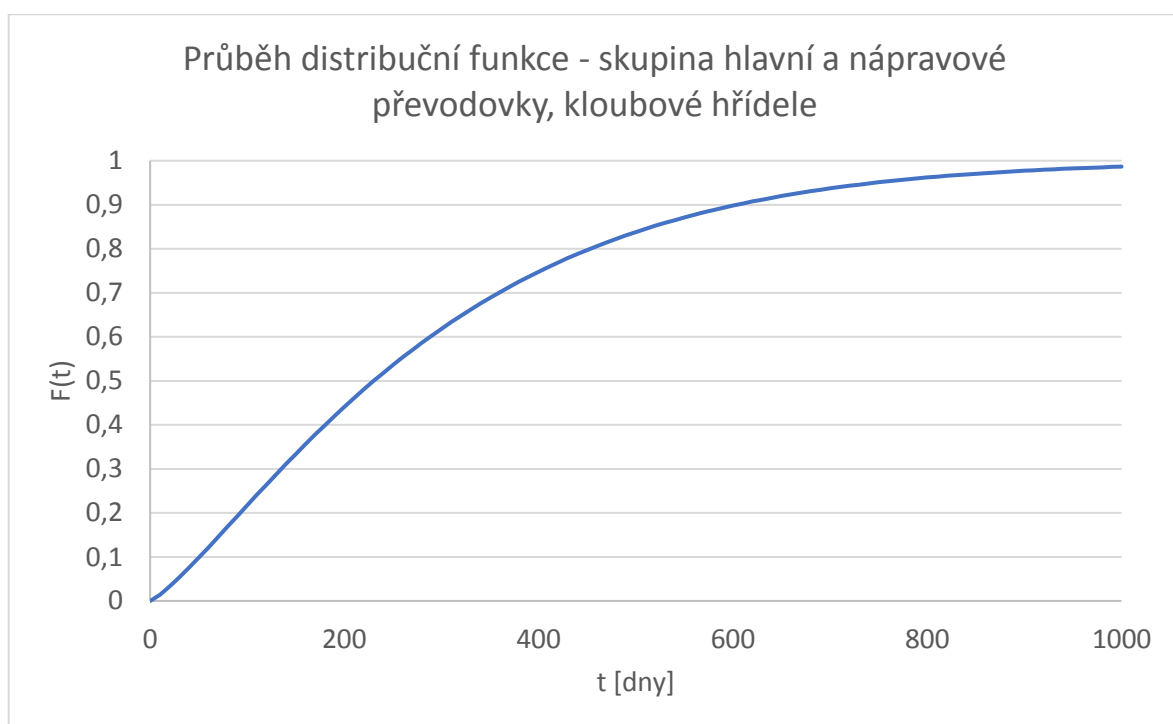
Příloha H Graf odhadu parametrů skupina elektrických zařízení – lineární regrese



Příloha I Graf průběhu distribuční funkce W2P rozdělení pro skupinu elektrická zařízení



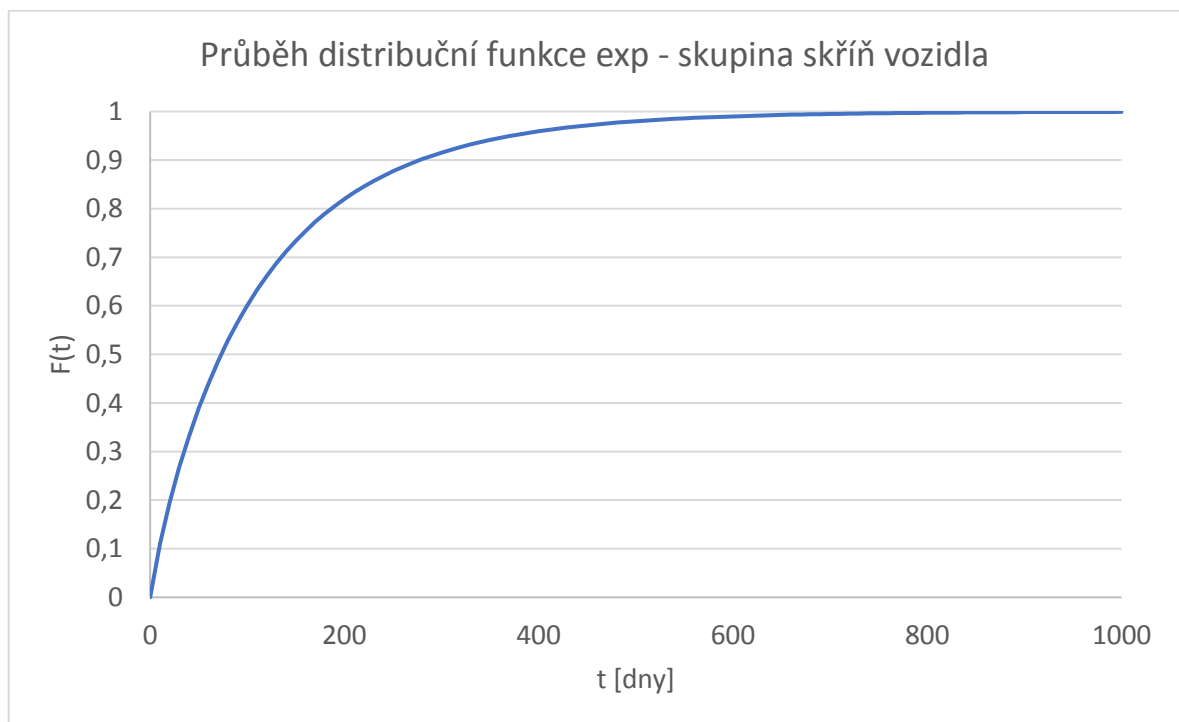
Příloha J Graf odhadu parametrů skupina hlavní a nápravové převodovky, kloubové hřídele – lineární regrese



Příloha K Graf průběhu distribuční funkce W2P rozdělení pro skupinu hlavní a nápravové převodovky, kloubové hřídele



Příloha L Graf odhadu parametrů skupina skříň vozidla – lineární regrese



Příloha M Graf průběhu distribuční funkce W2P rozdělení pro skupinu skříň vozidla